



Diseño y construcción de una plataforma para adquisición, procesamiento y almacenamiento de señales EEG para el seguimiento de enfermedades neurodegenerativas.

Santiago González Cuartas

Eduardo Montoya Guevara

Trabajo de grado presentado para optar al título de Bioingeniero

Asesor

John Fredy Ochoa Gómez, Doctor (PhD) en Ingeniería Electrónica

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Bioingeniería

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita

González Cuartas y Montoya Guevara [1]

Referencia

Estilo IEEE (2020)

- [1] S. González Cuartas y E. Montoya Guevara, “Diseño y construcción de una plataforma para adquisición, procesamiento y almacenamiento de señales EEG para el seguimiento de enfermedades neurodegenerativas”, Trabajo de grado profesional, Bioingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2024.
-



Grupo de Investigación Neuropsicología y Conducta (GRUNECO).



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano: Julio César Saldarriaga

Jefe departamento: John Fredy Ochoa Gómez.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Esta tesis es un tributo a la paciencia y colaboración de nuestras familias, quienes siempre nos han acompañado y apoyado incondicionalmente a lo largo de nuestras vidas. También es una dedicatoria a nuestros amigos y conocidos, en cada uno encontramos una fracción de aprendizaje. A cada profesor del programa, cada uno nos brindó conocimiento en nuestro camino académico.

A todas estas personas, nuestro reconocimiento y gratitud por su apoyo.

Agradecimientos

Agradecemos al profesor John Fredy Ochoa, por ser nuestro guía incondicional en estos años de formación, sin él, este trabajo no sería posible. Agradecemos a todas las personas que han pasado por el grupo de investigación neuropsicología y conducta (GRUNECO) que han contribuido a nuestra formación como profesionales y como personas. Agradecemos especialmente a nuestras compañeras Verónica Henao, Luisa Zapata y Juliana Moreno por su acompañamiento a lo largo de este camino y su apoyo incondicional.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
I. INTRODUCCIÓN	9
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
A. Antecedentes	11
III. JUSTIFICACIÓN.....	13
IV. OBJETIVOS	14
A. Objetivo general	14
B. Objetivos específicos	14
V. MARCO TEÓRICO	15
VI. METODOLOGÍA	22
VII. RESULTADOS	28
IX. CONCLUSIONES	49
X. RECOMENDACIONES	51
REFERENCIAS	52
ANEXOS.....	55

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. colocación de los electrodos estándar del sistema 10-20 [17].	15
Fig. 2. Ubicación de los electrodos bajo el sistema internacional 10-10.	25
Fig. 3. Ubicación de los electrodos en el participante.	25
Fig. 4. Respuestas obtenidas para la primera pregunta	28
Fig. 5. Respuestas obtenidas para la segunda pregunta	29
Fig. 6. Respuestas obtenidas para la tercera pregunta.	30
Fig. 7. Respuestas obtenidas para la cuarta pregunta.	30
Fig. 8. Respuestas obtenidas para la quinta pregunta.	31
Fig. 9. Respuestas obtenidas para la sexta pregunta.	32
Fig. 10. Respuestas obtenidas para la séptima pregunta.	32
Fig. 11. Respuestas obtenidas para la octava pregunta.	33
Fig. 12. Esquema general del flujo de la información en el software.	34
Fig. 13. Módulo de registro de la información. 1) corresponde a la información básica del sujeto. 2) Corresponde a la información educativa de relevancia para el proyecto. 3) corresponde a la información del registro. 4) Corresponde a los botones de guardado y de selección de ruta local.	36
Fig. 14. Módulo de registro de la impedancia. 1) corresponde a selección del umbral de impedancia. 2) Corresponde a los botones que permiten comenzar el registro de impedancia y detenerlo. 3) Corresponde a un electrodo por debajo del umbral establecido. 4) Corresponde a un electrodo por encima del umbral establecido.	38
Fig. 15. Datos crudos almacenados en archivo .txt.	39
Fig. 16 . 1) Corresponde a los botones que permiten iniciar, detener y/o guardar un registro. 2) Corresponde al espacio destinado a la visualización en tiempo real de cada uno de los canales.	40
Fig. 17 . Perfil de tiempos de ejecución.	41
Fig. 18. 1) Corresponde a los botones para seleccionar la carpeta a procesar y el botón para iniciar el procesamiento y la selección de características.2) Corresponde al espacio de visualización de las características y un espacio de inspección visual.	43
Fig. 19 . Página de inicio del software en la nube.	44

- Fig. 20 .** Dashboard para las variables demográficas de distribución de los registros con respecto al sexo y a la edad.45
- Fig. 21 .** Visualización tabular de los registros almacenados. En esta página es posible realizar búsquedas por paciente utilizando el campo de filtrado por cédula y el botón filtrar.....46
- Fig. 22 .** Desarrollo de prueba de la plataforma en un consultorio con personal medico47

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de grado es desarrollar una plataforma que facilite la adquisición de señales de electroencefalografía (EEG). El proyecto aborda la necesidad de mejorar la precisión y confiabilidad en la adquisición de señales EEG en entornos no clínicos, utilizando tecnologías portables, al igual que la necesidad del uso de estas tecnologías en el seguimiento de enfermedades neurodegenerativas de una manera fácil y económica. La metodología empleada incluye el diseño de una plataforma escalable y fácil de usar que integra procesos de adquisición, procesamiento y almacenamiento de señales EEG. Esta plataforma se construye en colaboración con profesionales de la salud para asegurar que cumpla con las necesidades específicas y facilite la implementación en prácticas médicas cotidianas. Entre las características técnicas destacadas, se incluye el uso de la tecnología OpenBCI para la captura de señales y la aplicación de técnicas de filtrado para garantizar la limpieza de los datos adquiridos. Los resultados obtenidos demuestran la eficacia de la plataforma en la adquisición y procesamiento de señales EEG en tiempo real, así como su capacidad para almacenar y gestionar los datos de manera segura tanto de forma local como en la nube. Las pruebas de usabilidad indican que la herramienta permite la adquisición de señales de EEG en entornos no controlados como lo puede ser un consultorio médico.

Palabras clave — Electroencefalografía (EEG), Tecnologías portables, OpenBCI, Plataforma de adquisición, Visualización y Almacenamiento de Bioseñales.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to develop a platform that facilitates the acquisition of electroencephalography (EEG) signals. The project addresses the critical need to improve the accuracy and reliability in the acquisition of EEG signals in uncontrolled environment settings, using portable technologies, as well as the need for the use of these technologies in the monitoring of neurodegenerative diseases in an easy and economical way. The methodology used includes the design of a scalable and easy-to-use platform that integrates processes for the acquisition, processing, and storage of EEG signals. This platform is built in collaboration with healthcare professionals to ensure it meets specific needs and facilitates implementation in everyday medical practices. Highlights include the use of OpenBCI technology for signal capture and the application of filtering techniques to ensure the cleanliness of the acquired data. The results obtained demonstrate the effectiveness of the platform in the acquisition and processing of EEG signals in real time, as well as its ability to securely store and manage data both locally and in the cloud. Usability testing indicates that the tool is intuitive even for non-specialist users, making it easy to adopt in clinical settings.

Keywords — Electroencephalography (EEG), Portable Technologies, OpenBCI, Biosignal Acquisition, Visualization and Storage Platform.

I. INTRODUCCIÓN

El Alzheimer representa un desafío creciente en la salud pública mundial por su alta incidencia y su impacto sustancial en la calidad de vida de los pacientes y sus familias [1]. Para 2020 en el mundo había cincuenta millones de personas con enfermedad de Alzheimer y se estima que el número se duplica cada 20 años, alcanzando un total de ciento cincuenta millones de personas con Alzheimer para el año 2050 [1]. Esta afección se caracteriza por la degeneración progresiva de las células nerviosas, lo que conduce a deterioro cognitivo, disfunción motora y otros síntomas debilitantes [2]. La detección temprana y monitorización precisa de la progresión de las enfermedades neurodegenerativas son cruciales para el desarrollo de intervenciones terapéuticas efectivas y la mejora del bienestar de los pacientes [3].

En este contexto, el análisis de señales electroencefalográficas (EEG) ha surgido como una herramienta prometedora para el diagnóstico temprano y la supervisión continua de enfermedades neurodegenerativas [4]. Las señales EEG reflejan la actividad eléctrica del cerebro y proporcionan información valiosa sobre la función cerebral y la presencia de patrones anómalos asociados con enfermedades neurodegenerativas [5]. Sin embargo, el aprovechamiento efectivo de la EEG en el diagnóstico y seguimiento de enfermedades neurodegenerativas requiere abordar desafíos técnicos y clínicos, como lo pueden llegar a ser una barrera económica a la hora de adquirir los equipos portables, ya que muchos de estos pueden llegar a costar desde los 800 USD [6] hasta los 15.000USD [7], cifras que no son asequibles para todos los laboratorios o centros diagnósticos que realicen estudios de electroencefalografía y precisen de un equipo de adquisición.

Uno de los principales desafíos técnicos reside en la adquisición confiable de señales EEG en entornos no clínicos, especialmente al considerar el uso de tecnologías portables, debido a los múltiples artefactos que existen en estos ambientes no controlados [8]. Este proyecto se enfoca en diseñar y desarrollar una plataforma que simplifique la adquisición, procesamiento y almacenamiento de señales EEG, con el fin de permitir un monitoreo efectivo de la progresión y manifestación de enfermedades neurodegenerativas en entornos no controlados, como los consultorios clínicos.

El enfoque de este proyecto se centra en codiseñar una plataforma de adquisición de EEG que garantice su fácil uso por parte de personal no especializado. Lo anterior debido a que los hardware ya existentes para EEG tienen interfaces que no son genéricas o de fácil uso para el

personal de salud y no son orientados a problemas específicos, centrándose únicamente en la adquisición de las señales. Para esto, nuestra plataforma pretende simplificar el proceso de adquisición para el usuario que la utilice, ya sea un profesional de la salud o un ingeniero, automatizando e integrando procesos, y minimizando la necesidad de ajustes manuales. De este modo, se pretende superar los desafíos técnicos como la complejidad en el uso de plataformas que pueden llegar a ser poco intuitivas a la hora de la adquisición de señales EEG en entornos no clínicos, permitiendo así un monitoreo continuo y confiable de las enfermedades neurodegenerativas.

Este trabajo incluye la construcción de una arquitectura tecnológica escalable, diseñada para asegurar la adquisición de las señales EEG mediante el uso de la tecnología OpenBCI [9], su posterior procesamiento y un almacenamiento de los datos en la nube y bajo el estándar BIDS. La estructura técnica permite la integración de cada etapa del proceso, optimizando el flujo de información y garantizando el almacenamiento de los datos capturados.

Dentro de la arquitectura, se realizará el preprocesado de las señales para garantizar una visualización filtrada en tiempo real de los datos adquiridos. Este proceso implica la aplicación de técnicas matemáticas, como filtros lineales que permiten filtrar y limpiar la información de interés en las señales capturadas.

La gestión de datos es un componente principal de este proyecto. La plataforma incluye una arquitectura de almacenamiento diseñada para asegurar una organización amigable y escalable, utilizando estructuras de almacenamiento de información empleadas en neurociencias como el estándar BIDS [10]. Esta arquitectura de almacenamiento está diseñada para salvaguardar la integridad y la seguridad de los datos, asegurando que la información recopilada esté protegida y disponible para su análisis y consulta.

El desarrollo de la plataforma está enmarcado en el proyecto “Evaluación de la actividad eléctrica cerebral en sujetos con deterioro cognitivo mediante electroencefalografía portable y modelos de Machine Learning” - Cod SIIU PRG 2022-53407, donde se tomarán registros de 200 sujetos. Mediante la colaboración con el personal de salud y el uso de esta plataforma, se pretende facilitar el monitoreo de la progresión y manifestación de enfermedades neurodegenerativas, mejorando el diagnóstico y seguimiento de estas afecciones de gran impacto en la salud pública.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Alzheimer y otras enfermedades neurodegenerativas representan un desafío creciente en la salud pública a nivel global, dada su creciente incidencia en aumento y su impacto significativo en la calidad de vida tanto de los pacientes como de sus familias [11]. Se estima que para el año 2050, el número de personas afectadas podría alcanzar los ciento cincuenta millones. Sin embargo, el diagnóstico temprano y la monitorización precisa de la progresión de estas enfermedades continúan siendo áreas críticas de mejora. La detección precoz es fundamental para el desarrollo de intervenciones terapéuticas efectivas que puedan ralentizar el avance de estas afecciones y mejorar el bienestar de los pacientes [12]. En este contexto, el análisis de señales electroencefalográficas (EEG) ha surgido como una herramienta prometedora para el diagnóstico temprano y la supervisión continua de enfermedades neurodegenerativas [4].

No obstante, la adquisición de señales electroencefalográficas (EEG) en ambiente no controlados presenta desafíos significativos. Factores como la colocación correcta de electrodos, la configuración de los dispositivos y la interpretación de los datos pueden influir en la calidad y utilidad de las señales EEG. Además, el desarrollo de sistemas portables que permitan la captura continua de señales EEG en entornos no controlados como consultorios médicos, añade complejidad al diseño y la implementación [13].

Adicionalmente, las interfaces actuales para equipos de EEG representan un reto para el personal de salud, debido a su diseño poco intuitivo. Para el personal de salud en investigación, el uso de lenguajes de programación para llevar a cabo sus tareas supone una barrera para interactuar con estas tecnologías. Por lo tanto, se plantea la necesidad de una plataforma de adquisición de EEG que simplifique y automatice el proceso. Este proyecto se centra en hacer más amigable el proceso de registro EEG, permitiendo así un seguimiento más accesible de las enfermedades neurodegenerativas.

A. Antecedentes

El análisis de señales EEG ha emergido como una herramienta prometedora para el diagnóstico temprano y la monitorización continua de enfermedades neurodegenerativas [15]. Las señales EEG reflejan la actividad eléctrica del cerebro, proporcionan información valiosa sobre la

función cerebral y propician la detección de patrones anómalos asociados con estas enfermedades [15].

Investigaciones previas han explorado diferentes enfoques para mejorar la adquisición y el procesamiento de señales EEG en entornos no clínicos. Se han propuesto diversas técnicas de filtrado y procesamiento de señales, así como sistemas portables para la captura continua de datos. A pesar de esto, persisten las limitaciones en cuanto a precisión, confiabilidad y escalabilidad de estas soluciones [16]. En los últimos años, las tecnologías portables para la adquisición de señales EEG han ganado atención significativa debido a su potencial para el monitoreo continuo y no invasivo de la actividad cerebral en diversos contextos, que van desde la investigación clínica hasta aplicaciones comerciales y de consumo personal.[17], [18]

Los dispositivos portables EEG están diseñados para ofrecer ligereza, comodidad y facilidad de uso, permitiendo la captura de datos en diversas situaciones cotidianas. Estos dispositivos suelen incorporar electrodos secos o semisecos. Entre los ejemplos notables se encuentran productos como Muse, Emotiv, y NeuroSky, los cuales ofrecen interfaces poco amigables y conectividad inalámbrica para la transmisión de datos en tiempo real [16].

En el 2022, como parte de un trabajo de grado del programa de bioingeniería en la universidad de Antioquia, se desarrolló un sistema de procesamiento y visualización de señales EEG en tiempo real, destinado a pacientes bajo anestesia general [19]. Este sistema permite la visualización de una señal electroencefalográfica para cada hemisferio cerebral, así como la representación en tiempo real de los valores de las bandas de frecuencia (Alpha, Beta, Gamma, Theta).

III. JUSTIFICACIÓN.

El desarrollo de una plataforma para la adquisición, procesamiento y almacenamiento de señales electroencefalográficas (EEG), con enfoque en tecnologías portables, se fundamenta en la creciente necesidad de superar los desafíos técnicos inherentes a la adquisición y seguimiento de enfermedades neurodegenerativas, como la adopción de nuevas tecnologías portables y de adquisición de baja densidad, además de facilitar la visualización en tiempo real de los registros EEG y facilitar la posterior revisión de los datos demográficos. Esta plataforma aprovechará las ventajas de la EEG y las tecnologías portables para capturar datos en entornos no controlados. El co-diseño de la plataforma con profesionales personal de salud garantizará la relevancia de la plataforma, promoviendo su integración efectiva tanto a la práctica diaria como en la investigación científica. Este enfoque interdisciplinario puede contribuir significativamente a la comprensión y manejo de las enfermedades neurodegenerativas y mejorar la calidad de vida de los pacientes y sus familias, facilitando un diagnóstico temprano y un seguimiento confiable y personalizado, Permitiendo también aumentar la cantidad de registros durante los estudios y el uso de estas tecnologías en el seguimiento de otras enfermedades.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Diseñar y construir una plataforma para la adquisición, visualización, procesamiento y almacenamiento de señales EEG para el seguimiento de una población con enfermedad neurodegenerativa.

B. Objetivos específicos

- Co - diseñar con profesionales de la salud una plataforma que satisfaga las necesidades clínicas de análisis y seguimiento de enfermedades neurodegenerativas haciendo uso de electroencefalografía, realizando encuestas de usabilidad, metodología de validación de prueba y entrevistas.
- Construir una plataforma escalable que permita la adquisición en tiempo real, procesamiento y almacenamiento de señales EEG.
- Implementar una arquitectura de almacenamiento que permita la organización, gestión, consulta y análisis de los datos EEG adquiridos previamente con la plataforma.
- Validar el producto mínimo viable mediante pruebas de usabilidad y registros de electroencefalografía tomados en el marco del proyecto “Evaluación de la actividad eléctrica cerebral en sujetos con deterioro cognitivo mediante electroencefalografía portable y modelos de Machine Learning”.

V. MARCO TEÓRICO

A. Electroencefalografía.

La electroencefalografía (EEG) es una técnica no invasiva que permite medir la actividad eléctrica cerebral mediante la aplicación de electrodos sobre el cuero cabelludo, permitiendo medir el cambio de potencial eléctrico a través del tiempo. La actividad eléctrica registrada representa la suma de los potenciales postsinápticos excitatorios e inhibitorios en las dendritas apicales de las neuronas piramidales, donde a mayor activación del área, se generan cambios de potencial más altos que captarán los electrodos [20].

El número de electrodos y su distribución espacial varía según diferentes montajes, y se posicionan según el sistema internacional 10-20 (Fig. 1). Existen dos tipos de montajes básicos: bipolar y monopolar; el montaje bipolar estima las diferencias de potencial entre dos electrodos adyacentes, mientras que el montaje de tipo monopolar registra la diferencia entre un electrodo ubicado en una región cerebral activa con respecto a un electrodo de referencia, que normalmente es ubicado en el lóbulo de la oreja [21].

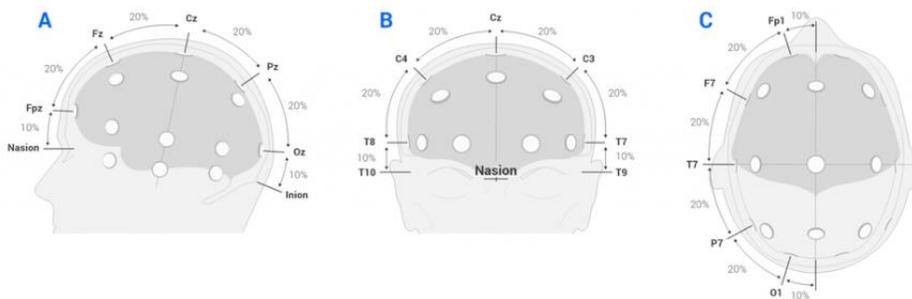


Fig. 1. colocación de los electrodos estándar del sistema 10-20 [17].

Cada canal de electrodos de EEG registra información eléctrica proyectada sobre este, que resulta en medir una mezcla lineal de un conjunto de señales que no son neuronal, sino producidas por otras fuentes biológicas, lo que se conoce como artefactos. Los artefactos son señales que provienen de fuentes ajenas a la actividad en la corteza, enmascarando la señal resultante [22].

B. Enfermedades neurodegenerativas.

Las enfermedades neurodegenerativas son un grupo de trastornos caracterizados por la degeneración progresiva de las células nerviosas en el sistema nervioso central y/o periférico. Estas afecciones devastadoras afectan la función cerebral y el sistema motor, resultando en una serie de síntomas debilitantes. Entre las enfermedades neurodegenerativas más estudiadas y reconocidas se encuentran el Alzheimer y el Parkinson.

El Alzheimer (EA) es la forma más común de trastorno cognitivo que representa entre el 60%-80% de los casos se caracteriza por la acumulación de placas de beta-amiloide y ovillos de tau en el cerebro. Estas anormalidades neuropatológicas están asociadas con la pérdida de neuronas y la disminución de neurotransmisores, lo que conduce a un deterioro cognitivo progresivo. Los síntomas incluyen pérdida de memoria, desorientación, dificultades en la comunicación y cambios en el comportamiento [23].

Las personas que padecen EA suelen ser mayores de 65 años, pero hay otra variante de la enfermedad de referente genético, en el que se presenta deterioro cognitivo leve (DCL) en edades más tempranas. En Colombia existen poblaciones portadoras de diferentes variantes genéticas siendo de especial interés la variante PSEN1-E280A ya que en Antioquia existe la población más grande del mundo identificada con esta misma variante genética con cerca de 6000 individuos con 1200 portadores. En esta población la edad de aparición del DCL puede ser antes de los 44 años [24]. Con esta población se han podido establecer algunos biomarcadores preclínicos de la enfermedad [24]. aunque algunos de los instrumentos para establecer estos biomarcadores están limitados al ámbito investigativo por los altos costos asociados.

El Parkinson es una enfermedad neurodegenerativa que afecta al sistema motor. Se caracteriza por la degeneración de las neuronas dopaminérgicas en la sustancia negra del cerebro, lo que lleva a la deficiencia de dopamina en el sistema estriado. Esto provoca síntomas motores como temblores, rigidez, bradicinesia y alteraciones en la postura. Además de los síntomas motores, los pacientes de Parkinson también pueden experimentar síntomas no motores, como depresión, ansiedad y deterioro cognitivo [2],[25].

Las enfermedades neurodegenerativas comparten mecanismos subyacentes comunes, como la acumulación de proteínas mal plegadas, la inflamación crónica y la disfunción mitocondrial. En

el Alzheimer, las placas de beta-amiloide y los ovillos de tau contribuyen al estrés oxidativo y la neuro inflamación, causando daño neuronal y disrupción de las conexiones sinápticas [26]. En el Parkinson, la acumulación de la proteína alfa-sinucleína en forma de agregados llamados cuerpos de Lewy conduce a la muerte de las neuronas dopaminérgicas y la interrupción de los circuitos motores [25].

C. EEG y Enfermedades Neurodegenerativas:

El electroencefalograma (EEG) es una técnica para la medición y el análisis de la actividad eléctrica del cerebro. Se ha utilizado ampliamente en la investigación clínica y neurocientífica para comprender la actividad cerebral en diferentes estados y condiciones [27], [28]. En el contexto de enfermedades neurodegenerativas, el EEG se ha destacado como una herramienta prometedora para el diagnóstico temprano y la monitorización de la progresión de afecciones como el Alzheimer y el Parkinson [4]. El análisis de las características EEG, como las frecuencias y los patrones de ondas, puede proporcionar información valiosa sobre la función cerebral y los cambios patológicos asociados con estas enfermedades [29]. Por ejemplo, la disminución de la actividad alfa y el aumento de las oscilaciones theta pueden relacionarse con el deterioro cognitivo del Alzheimer, mientras que ritmos beta anormales podría indicar la disfunción motora en el Parkinson [25]. La detección de estos patrones EEG específicos puede ayudar en la identificación temprana de las enfermedades y en la evaluación de su progresión, lo que a su vez puede influir en la toma de decisiones clínicas y terapéuticas [27]. Las enfermedades neurodegenerativas, están asociadas con alteraciones bioeléctricas en el cerebro que se reflejan en las señales EEG. Estas alteraciones pueden manifestarse como cambios en la amplitud, la frecuencia y la sincronización de las ondas cerebrales en diferentes regiones del cerebro. Por ejemplo, en el Alzheimer, se ha observado una reducción generalizada de la actividad alfa y un aumento en las oscilaciones delta y theta en áreas corticales, lo que sugiere una disfunción en la red neuronal [31]. En el Parkinson, se pueden observar oscilaciones beta anormales en el área motora, relacionadas con los síntomas motores característicos de la enfermedad [31]. Estos patrones EEG anómalos dan una ventana hacia la neurofisiología subyacente de estas enfermedades y pueden utilizarse como biomarcadores para evaluar su progresión [32].

D. Tecnologías Portables y Monitoreo Continuo:

Las tecnologías portables han revolucionado la forma en que se puede acceder y analizar la información fisiológica en tiempo real, incluida la actividad cerebral. Los dispositivos de electroencefalografía portátil (EEG portátil) permiten la captura continua de señales EEG en entornos no clínicos, lo que brinda la oportunidad de estudiar la actividad cerebral en situaciones cotidianas y fuera del laboratorio. Esta capacidad de monitoreo continuo es relevante en el seguimiento de enfermedades neurodegenerativas [33].

La naturaleza no invasiva y el diseño compacto de los dispositivos EEG portables permiten a los usuarios llevarlos consigo y registrar su actividad cerebral mientras realizan actividades diarias. Esto ofrece la ventaja de capturar datos en contextos naturales y variados, lo que puede reflejar de manera más precisa la función cerebral en situaciones del mundo real. La recolección de datos EEG en entornos no controlados puede proporcionar información sobre cómo las actividades cotidianas, el estrés, la interacción social y otros factores influyen en la actividad cerebral y cómo estos patrones cambian en presencia de enfermedades neurodegenerativas [34].

Sin embargo, el uso de tecnologías portables plantea desafíos técnicos, como la necesidad de garantizar una adquisición precisa y confiable de señales EEG en entornos no controlados. Los artefactos generados por otras señales fisiológicas, ruido eléctrico y la variabilidad en la colocación de los electrodos, al igual que el uso de la tecnología por parte de personal no especializado en el registro EEG utilizando plataformas complejas y poco intuitivas pueden afectar la calidad de las señales registradas. Por lo tanto, el diseño de los dispositivos EEG portátiles debe abordar estos problemas mediante técnicas de filtrado y procesamiento de señales que compensen estas fuentes de error y mejoren la confiabilidad de los datos capturados [35].

E. Filtrado y procesamiento de las señales de electroencefalografía

La electroencefalografía (EEG) es una técnica que permite medir la actividad eléctrica del cerebro, pero se ve afectada por diversos artefactos eléctricos y mecánicos. Estos artefactos pueden ser generados por la línea eléctrica, señales electromagnéticas, otras señales electrofisiológicas o movimientos. Algunos de estos artefactos se encuentran en la misma banda de frecuencia que las

señales EEG, lo que complica la extracción de información relevante sobre la actividad cerebral. Para eliminar estos ruidos, se requieren técnicas matemáticas avanzadas que minimicen la pérdida de información importante.

Para los artefactos que se encuentran fuera del espectro de interés del EEG, se utilizan filtros digitales lineales. Estos filtros pueden eliminar frecuencias específicas de una señal y se dividen en dos categorías principales: filtros con respuesta infinita al impulso (IIR) y filtros con respuesta finita al impulso (FIR). Los filtros IIR utilizan retroalimentación, lo que les permite utilizar menos coeficientes para lograr una respuesta deseada en comparación con los filtros FIR. Sin embargo, los IIR pueden ser inestables. Los filtros FIR son ampliamente utilizados debido a su estabilidad y su capacidad para mantener una linealidad en fase, lo que los hace adecuados para el procesamiento de señales EEG. La ecuación de diseño de un filtro FIR corresponde a la Ecuación 1 [36].

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M-1} b_k x(n-k)$$

Ecuación 1. Ecuación de filtro FIR

Para los artefactos que se encuentran en la misma banda de interés que la del EEG, una de las técnicas utilizadas para el filtrado es la transformada discreta de wavelet (DWT). La DWT es una herramienta para el análisis y procesamiento de señales. A diferencia de la transformada de Fourier, que proporciona información en el dominio de la frecuencia, pero no en el tiempo, la DWT permite una descomposición multi-resolución de la señal en el dominio tiempo-frecuencia. La DWT descompone una señal en aproximaciones y detalles a través de sucesivas descomposiciones que implican un submuestreo de la señal. Cada nivel de descomposición representa una banda de frecuencia específica. Al aplicar un umbral a los coeficientes de detalle, es posible eliminar artefactos de gran amplitud, conservando la información relevante de la señal EEG. La transformada continua se describe en la ecuación 2 [37]. ψ corresponde a la wavelet elegida para realizar la convolución.

$$F[n, a] = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \sum_{m=0}^{N-1} x[n] \psi \left[\frac{m-n}{a} \right]$$

Ecuación 2. Transformada discreta de wavelet

Para realizar un análisis en frecuencia de la señal, se utilizan técnicas de análisis espectral. Este análisis permite examinar la distribución de la potencia de la señal EEG en el dominio de la frecuencia. Una de las técnicas para obtener la densidad espectral promedio de una señal es el método de Welch. Esta técnica proporciona un promedio de la distribución de potencia en un rango frecuencial. Este método se define según la Ecuación 3. Donde $P_q[k]$ está definido como el periodograma en una ventana y Q corresponde al número total de ventanas [38].

$$S_{xx}[k] = \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q P_q[k]$$

Ecuación 3. Densidad espectral de potencia promedio mediante el método de Welch.

F. Arquitectura C.R.U.D. para Almacenamiento.

La arquitectura Create, Read, Update, Delete (C.R.U.D.) se refiere a un conjunto de operaciones fundamentales en la gestión de bases de datos. En el contexto de la plataforma propuesta, esta arquitectura juega un papel crucial en el almacenamiento y manejo de datos EEG. La operación "Create" implica la captura y registro de señales EEG en una base de datos centralizada. La operación "Read" permite la consulta y recuperación de datos almacenados para análisis posteriores. La operación "Update" se relaciona con la actualización de datos y metadatos, lo que permite mantener una base de datos actualizada. La operación "Delete" se refiere a la eliminación segura de datos obsoletos o redundantes. La implementación de esta arquitectura garantiza una organización eficiente y segura de los datos, así como un acceso fluido y confiable a la información almacenada.

G. Codiseño.

El codiseño, también conocido como diseño colaborativo, es una metodología que involucra a diversas personas en el proceso de creación de soluciones, asegurando que las necesidades, perspectivas y experiencias de los usuarios finales sean tenidas en cuenta desde las primeras etapas del desarrollo. En el contexto de la investigación y desarrollo de plataformas para el análisis y seguimiento de enfermedades neurodegenerativas a través de la electroencefalografía (EEG), el

codiseño emerge como una herramienta fundamental para garantizar la efectividad y relevancia de la plataforma.

El codiseño es un enfoque participativo que implica la colaboración activa de usuarios finales, diseñadores y otras personas interesadas en el proceso de diseño. Busca integrar el conocimiento y las perspectivas de los usuarios, profesionales de la salud y expertos en tecnología desde las fases iniciales del desarrollo, asegurando que la solución final se adapte de manera óptima a las necesidades del usuario y al contexto específico de aplicación.

VI. METODOLOGÍA

El desarrollo de la plataforma de adquisición de EEG se basó en un enfoque mixto que integró métodos cualitativos y cuantitativos para el desarrollo de un aplicativo destinado a facilitar la adquisición, visualización y procesamiento de datos obtenidos mediante electroencefalografía (EEG). La metodología se dividió en varias etapas que abarcaron desde la concepción del proyecto hasta su validación final con usuarios finales de manera que se diese cumplimiento a los objetivos.

A. Entrevistas y encuestas.

Metodología de Codiseño:

1. Encuestas de Usabilidad:

- Recopilación sistemática de datos sobre la experiencia del usuario, identificando áreas de mejora y preferencias de diseño.
- La retroalimentación de profesionales de la salud se integra para optimizar la interfaz.

2. Validación de Pruebas:

- Evaluación continua de prototipos y versiones preliminares con usuarios finales y profesionales de la salud.
- Asegura la corrección de posibles problemas antes de la implementación final, mejorando la eficacia y aceptación.

3. Entrevistas:

- Diálogo directo con profesionales de la salud para comprender sus necesidades específicas y adaptar la plataforma en consecuencia.
- Permite ajustes iterativos para cumplir con requisitos y expectativas.

Se realizaron entrevistas y encuestas a 10 personas pertenecientes al programa de medicina y de bioingeniería de la Universidad de Antioquia y del grupo de neuropsicología y conducta (GRUNECO) que han tenido contacto con la adquisición de EEG en su carrera, ya sea universitaria, profesional o ambas. Las encuestas se realizaron en la fase inicial del presente trabajo como forma de muestreo de información inicial y fueron enviadas mediante correo electrónico.

Adicionalmente, se creó un protocolo en formato de entrevista (Anexo A) las cuales fueron aplicadas a personas que fuesen estudiantes de pregrado, posgrado y profesionales de salud que hayan tenido contacto con electroencefalografía desde la adquisición, el procesamiento y almacenamiento de los datos, bien fuese desde un ámbito clínico o un ámbito investigativo. Durante estas entrevistas se recopilaban opiniones con formato libre de respuesta a 10 preguntas planteadas. Todas las entrevistas se grabaron con previo consentimiento de las personas.

Las entrevistas se hicieron durante los últimos 3 meses del proyecto, donde se mostraron los productos obtenidos mediante iteración con las opiniones de las personas entrevistadas. Las entrevistas sirvieron como elemento de realimentación para la construcción de la interfaz. El equipo del proyecto “Evaluación de la actividad eléctrica cerebral en sujetos con deterioro cognitivo mediante electroencefalografía portable y modelos de Machine Learning” fue incluido dentro de las personas encuestadas.

B. Levantamiento de requisitos.

Basados en el proceso de iteración y las encuestas con el equipo de trabajo del proyecto “Evaluación de la actividad eléctrica cerebral en sujetos con deterioro cognitivo mediante electroencefalografía portable y modelos de Machine Learning” se obtuvieron las tareas de mayor relevancia que la interfaz debía desempeñar. La relevancia fue evaluada mediante la frecuencia con la que los entrevistados repetían la necesidad de la tarea. Además, se consideraron las características de conexión del equipo de registro para su integración con el software. Durante el proyecto se modificaron algunos requisitos por las necesidades surgidas en los registros de validación y las entrevistas en la fase final.

C. Desarrollo interfaz de usuario.

El sistema se desarrolló en el lenguaje de programación Python, siguiendo una arquitectura Modelo-Vista-Controlador (MVC). Se integró una base de datos en una arquitectura web para el almacenamiento de la información protegido por una estructura de usuarios-administrador. Adicionalmente, se utilizó el entorno de desarrollo integrado Qt Creator y la librería PyQt6 para la creación de los componentes gráficos que componen la interfaz de usuario de la plataforma. El

procesamiento y el flujo a través del aplicativo de las señales se realizó en la librería de Numpy. Adicionalmente, se realizó un análisis de tiempos de ejecución utilizando cProfiler para verificar la optimización de los tiempos de respuesta del módulo de visualización en tiempo real. Finalmente, todo el desarrollo se realizó bajo un procesamiento multihilo buscando mejorar el desempeño de la ejecución de tareas en paralelo.

D. Adquisición de las señales EEG.

Para la adquisición de las señales EEG, se utilizó el dispositivo OpenBCI con 8 electrodos. La frecuencia de muestreo del equipo es de 250Hz y para la creación del módulo de medición de impedancia se utilizó la Ecuación 3 donde V_{RMS} corresponde a los datos leídos del electrodo y I_{RMS} corresponde a la corriente emitida por el OpenBCI de 6 nA corriente alterna (CA) a 31.2 Hz.

$$Z = \frac{V_{RMS}}{I_{RMS}}$$

Ecuación 4. Ecuación de la impedancia.

Se empleó el sistema de colocación de electrodos internacional 10-10, utilizando los siguientes puntos de referencia: Fp1, Fp2, C3, C4, P7, P8, O1 y O2 (Fig. 2 y Fig. 3). Además, se utilizaron dos electrodos en las mastoides como referencia y tierra.

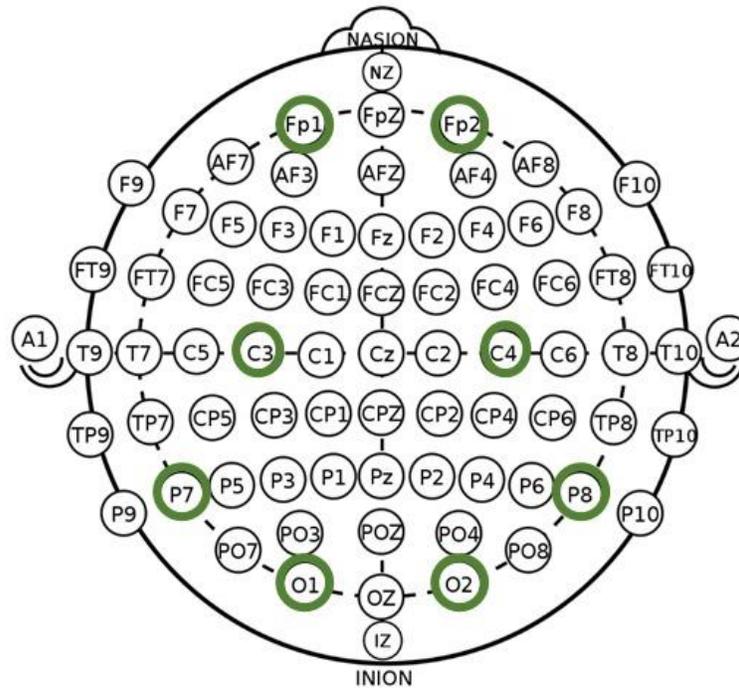


Fig. 2. Ubicación de los electrodos bajo el sistema internacional 10-10.



Fig. 3. Ubicación de los electrodos en el participante.

E. Visualización de la señal EEG en tiempo real.

La comunicación entre la plataforma y el equipo es de tipo serial y se utilizó la librería PyLSL para enviar el flujo de datos. Luego de la adquisición de las señales por medio del dispositivo OpenBCI, se construyó un módulo de visualización en tiempo real en la plataforma. Se utilizó la librería PyQt6 para la visualización de las señales en tiempo real. Además de esto, para mejorar la eficiencia de la plataforma y optimizar sus procesos, se utilizó la librería Qthreads de Python la cual usa los hilos del procesador donde se está ejecutando la plataforma y evita el congelamiento [19]. Todos los canales se muestran en figuras diferentes e independientes. Existe una equivalencia entre el color del elemento graficado y el color del electrodo sugerido por OpenBCI.

F. Almacenamiento de los datos.

Para el almacenamiento de los datos adquiridos durante los registros de EEG se decidió utilizar la base de datos MySQL. Esta base de datos se creó en la plataforma de Railway para tener acceso a ella en la nube y realizar consultas.

Los datos de electroencefalografía adquiridos se guardaron de manera local utilizando el formato Brain Imaging Data Structure (BIDS). Este formato estandarizado permite organización y compartición de los datos. Los datos obtenidos se almacenaron en los formatos .txt y .fif.

G. Sistema CRUD para la gestión de la información.

La implementación del Sistema CRUD para la gestión de la información se realizó integrando la plataforma y una página web diseñada específicamente para ello. La plataforma de adquisición de datos EEG fue desarrollada para permitir la captura y almacenamiento de señales EEG. Esta plataforma se encarga de la creación de los datos mediante la adquisición en tiempo real de las señales EEG y su posterior almacenamiento en una base de datos. Utilizando tecnologías como OpenBCI, Python y MySQL se logró establecer una conexión para la adquisición y almacenamiento de los datos.

La página web fue diseñada en el lenguaje de programación Django y desplegada en la plataforma Railway. La página web proporciona una interfaz para que los usuarios puedan visualizar y gestionar los datos adquiridos a través de la plataforma.

H. Validación de la plataforma.

Para la validación de la plataforma, en el primer paso se realizaron pruebas de adquisición de las señales de EEG en estudiantes de pregrado participantes del semillero NeuroCo y del grupo de investigación GRUNECO. Estos registros se realizaron siguiendo el protocolo de adquisición diseñado para el proyecto de investigación del Grupo de investigación GRUNECO “Evaluación de la actividad eléctrica cerebral en sujetos con deterioro cognitivo mediante electroencefalografía portable y modelos de Machine Learning” [39]. Después de validar la plataforma con los estudiantes de pregrado y verificar que la adquisición, visualización y guardado de la señal funcionara correctamente, se validó la plataforma con participantes del proyecto siguiendo el protocolo propuesto.

VII. RESULTADOS

A. Codiseño con profesionales de la salud.

Las respuestas de las encuestas fueron agrupadas en tópicos comunes. En las figuras entre la 4 y la 10 se presenta la relevancia de cada tópico basada en la frecuencia de aparición en las respuestas. La primera y la segunda pregunta se orientaron hacia las herramientas más conocidas para el personal de salud entrevistado. Para la construcción de la plataforma se tomó como base la plataforma presentada por el equipo OpenBCI puesto que es el equipo más familiar para las personas encuestadas y la favorita.

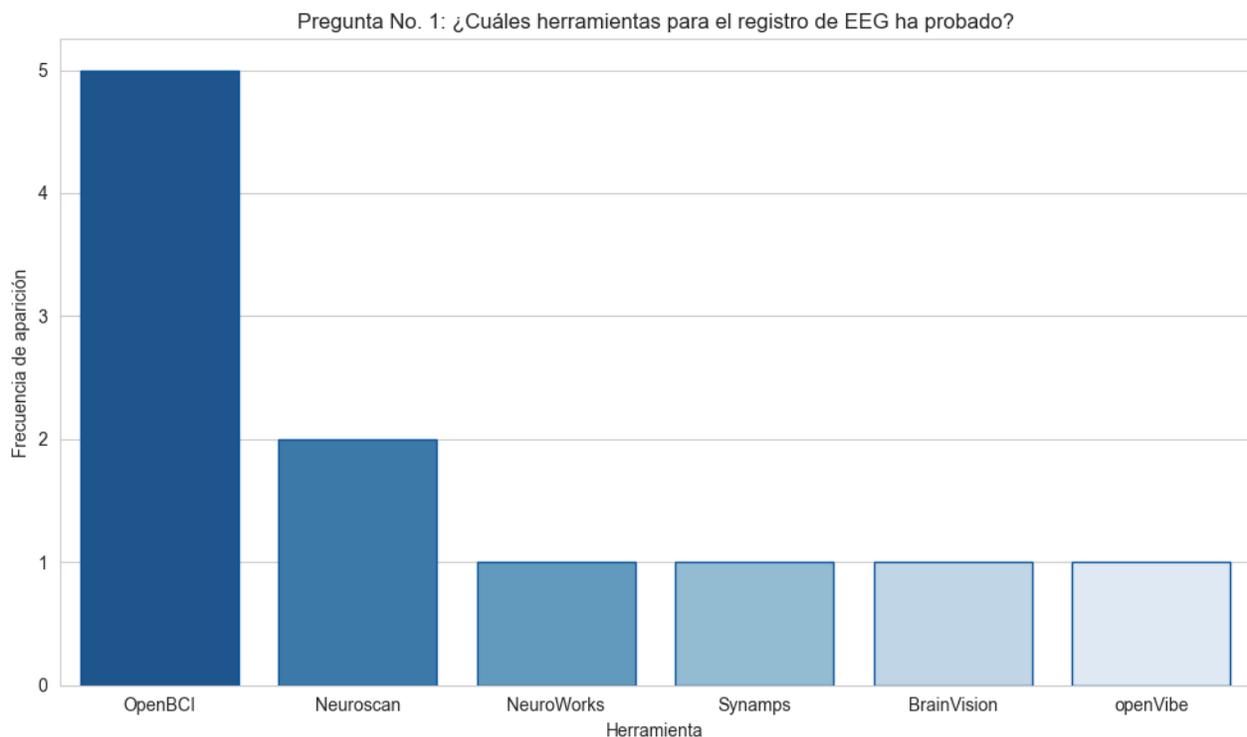


Fig. 4. Respuestas obtenidas para la primera pregunta

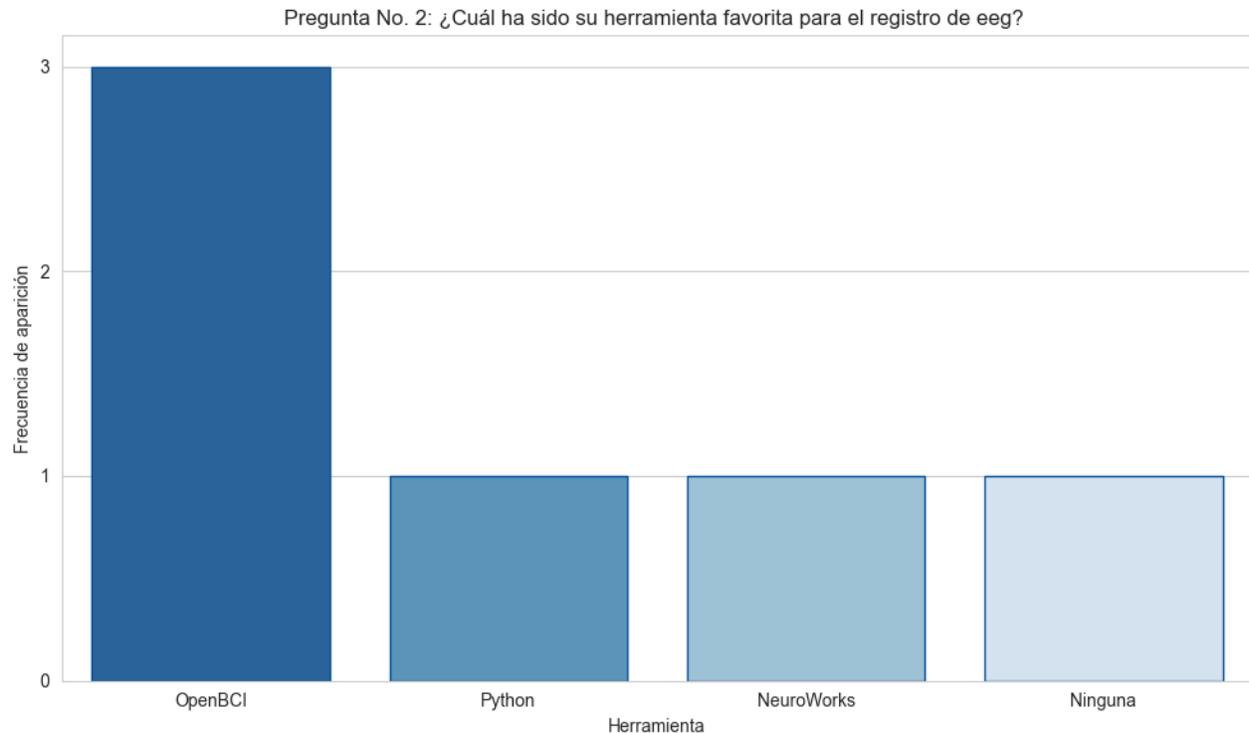


Fig. 5. Respuestas obtenidas para la segunda pregunta

Con las preguntas 3,4 y 5 se buscó reconocer las necesidades puntuales que la interfaz debía suplir. En general, las personas expresaron necesidad de tener un módulo de medición de impedancia en el cual fuera posible tener umbrales de referencia variables. Algunas de las necesidades expresadas durante las encuestas y entrevistas estaban orientadas al mejoramiento del hardware como los problemas relacionados al posicionamiento de los electrodos en la cabeza o los problemas asociados a los electrodos. Estas últimas respuestas no se tuvieron en cuenta durante la creación del prototipo, puesto que estaba por fuera del alcance del software. Los módulos del software se eligieron según las respuestas de la pregunta 5 (Fig. 8).

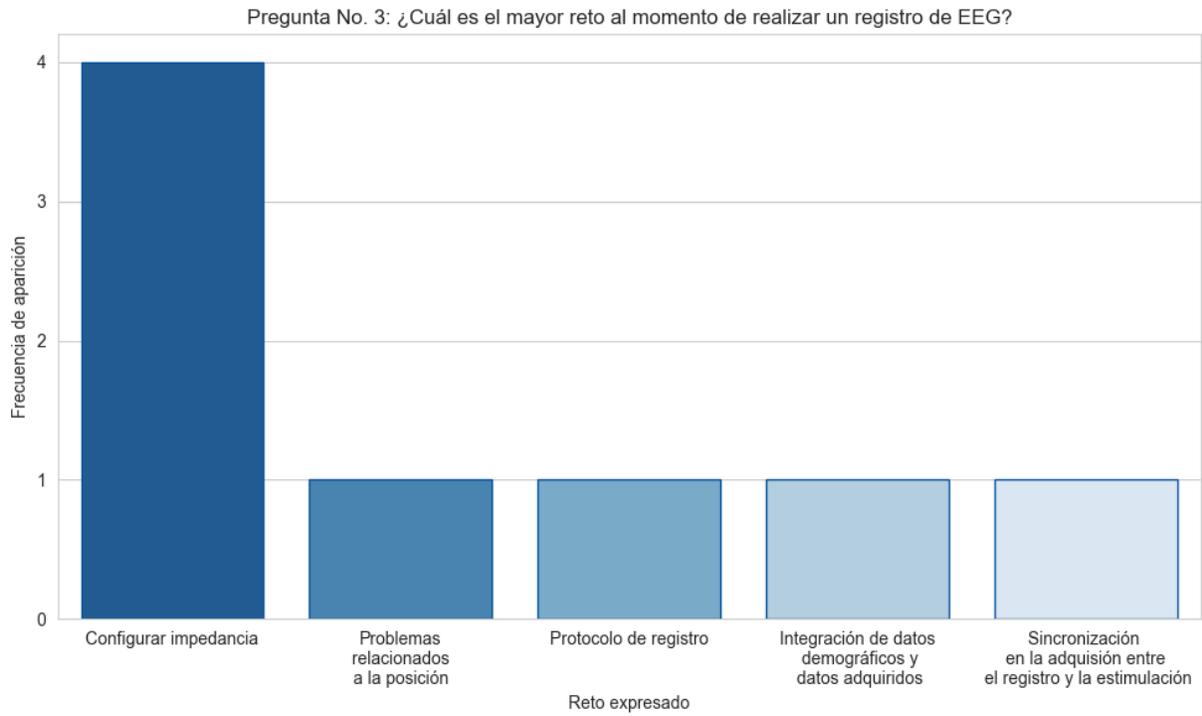


Fig. 6. Respuestas obtenidas para la tercera pregunta.

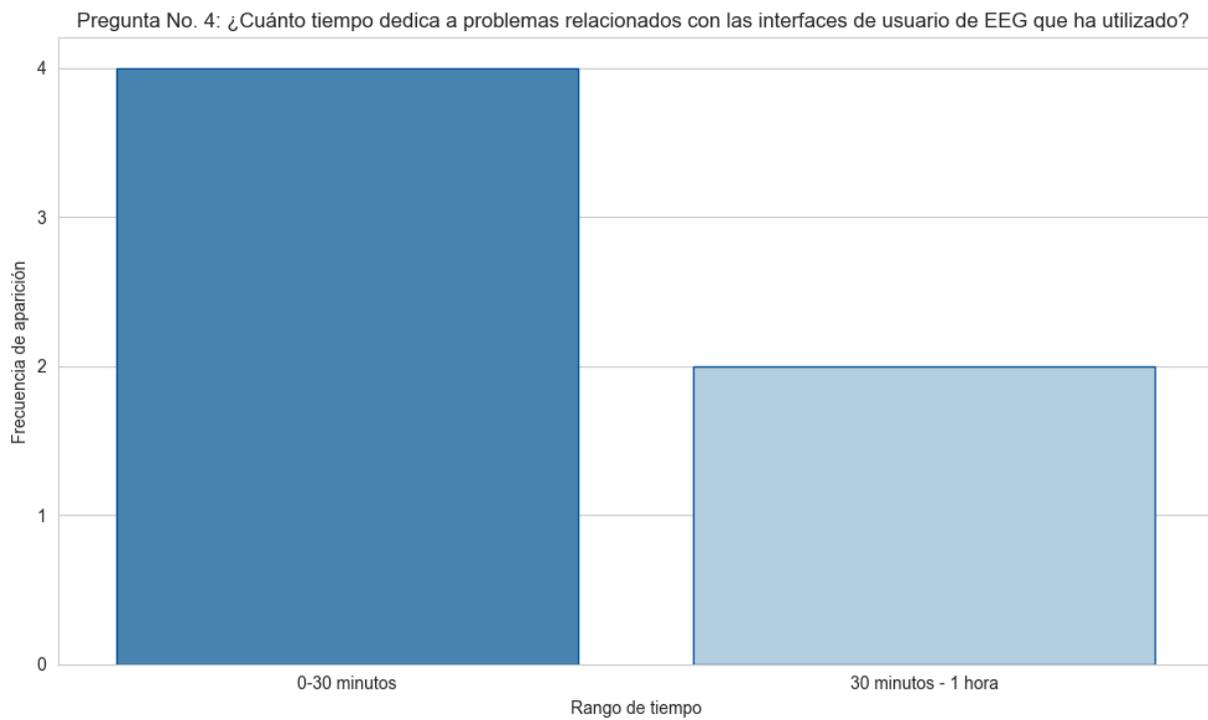


Fig. 7. Respuestas obtenidas para la cuarta pregunta.

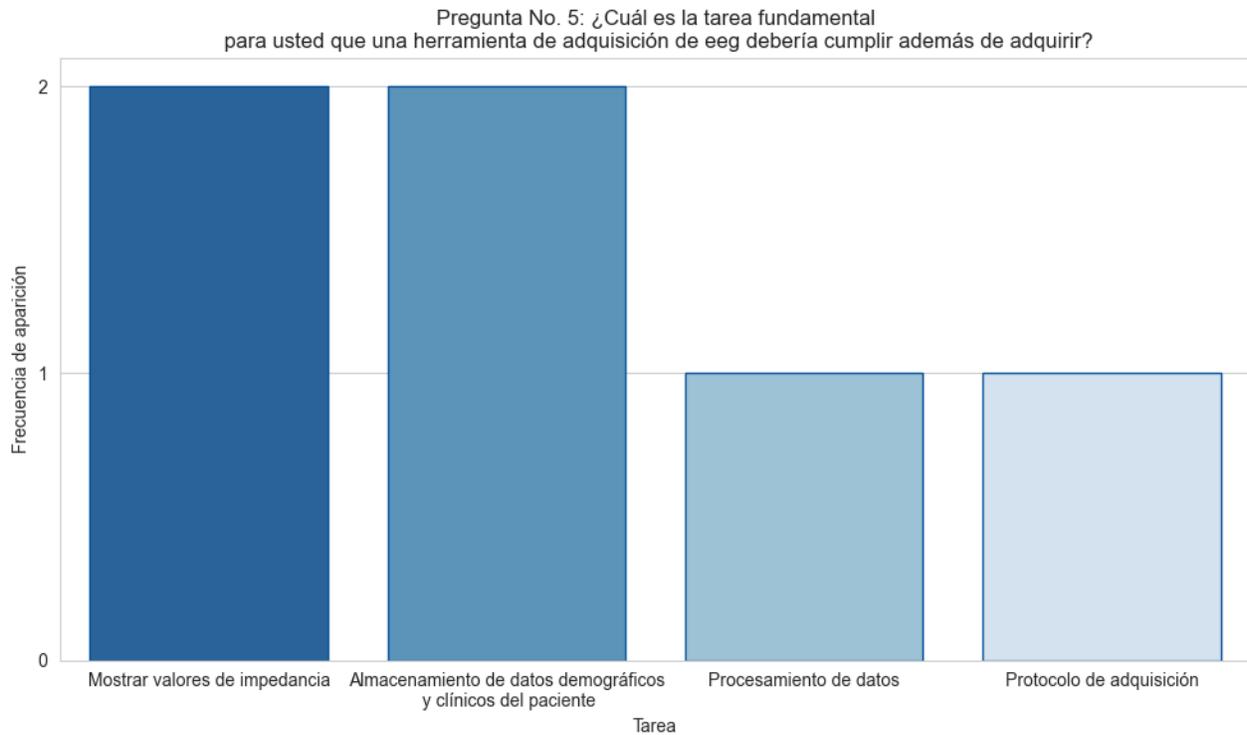


Fig. 8. Respuestas obtenidas para la quinta pregunta.

Adicionalmente, las preguntas 6 y 7 permitieron tener en el marco del diseño de la plataforma características provenientes de otros softwares que los usuarios valoraban. En especial, se tuvo en cuenta la concordancia de lo visualizado en el software y los elementos del hardware, tanto en color (módulo de adquisición en tiempo real) como en posición (módulo de impedancia). A la vez, se consideraron las recomendaciones que los usuarios quisieran añadir a los sistemas de adquisición.

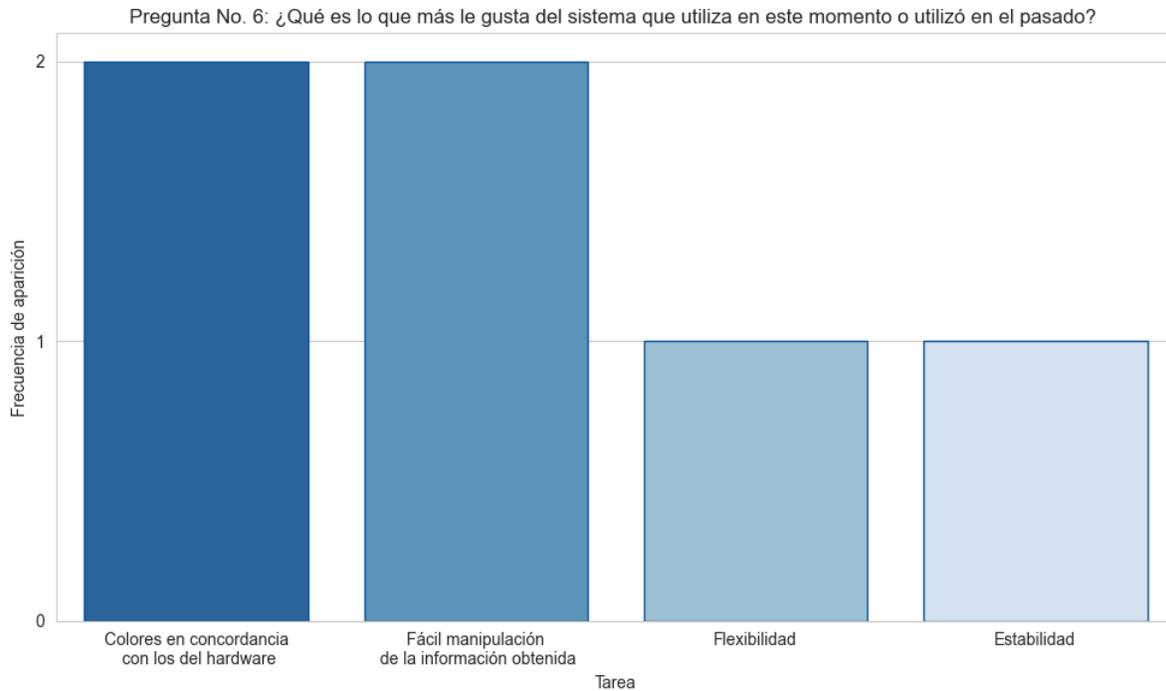


Fig. 9. Respuestas obtenidas para la sexta pregunta.

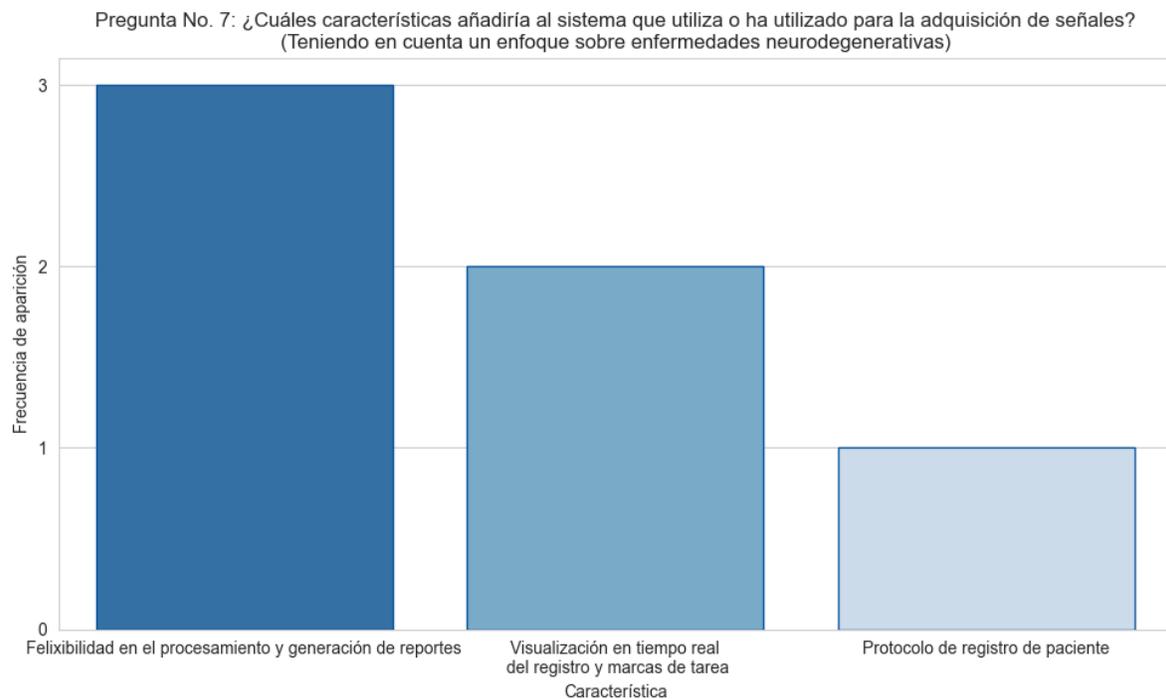


Fig. 10. Respuestas obtenidas para la séptima pregunta.

Finalmente, las respuestas de la última pregunta permitieron el diseño de la arquitectura para la gestión de la información. De forma general, la arquitectura web se basó en bases de datos relacionales SQL y la arquitectura de escritorio fue diseñada para almacenar la información en formato .txt (separado por comas) y .fif. Todos los datos adquiridos se almacenan bajo el estándar BIDS.

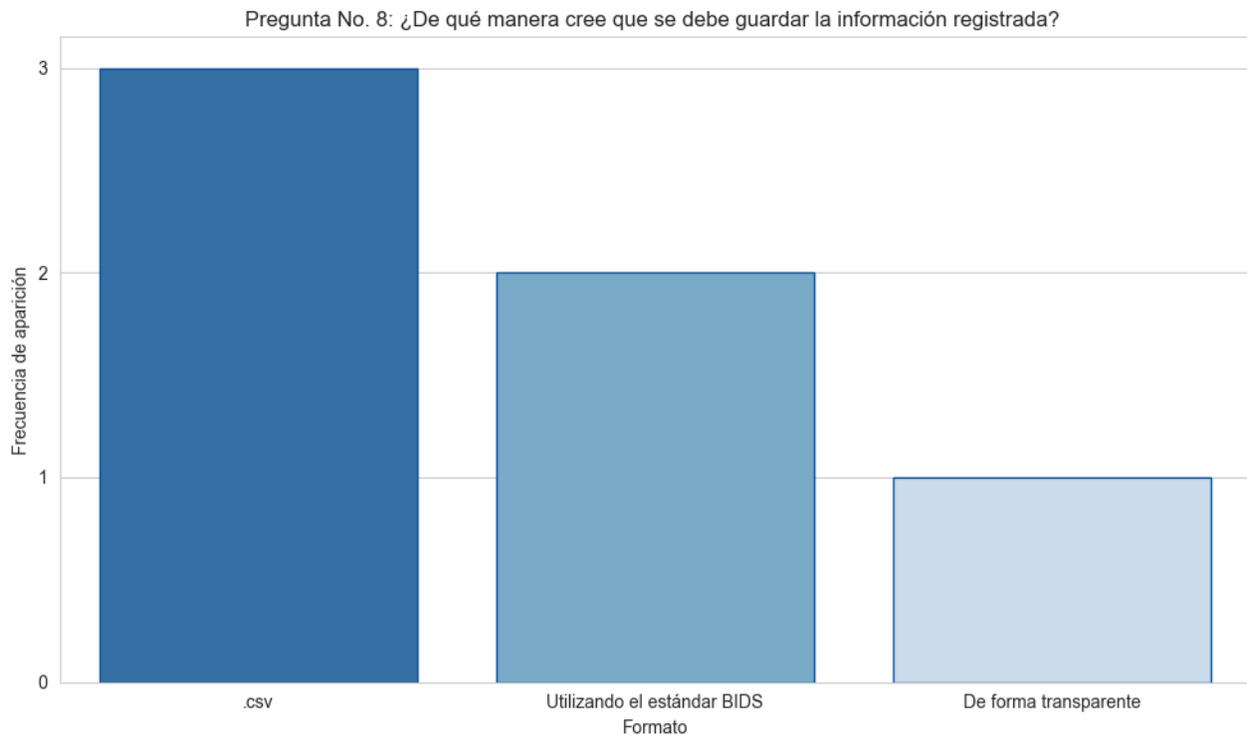


Fig. 11. Respuestas obtenidas para la octava pregunta.

B. Construcción de la plataforma.

Teniendo en cuenta los resultados iniciales de las encuestas se diseñaron 4 módulos en la plataforma. La aplicación de escritorio contiene los módulos de registro de la información demográfica del paciente, la medición de la impedancia, la adquisición en tiempo real y el procesamiento de los datos. En la figura 12 se presenta el esquema de funcionamiento de la interfaz.

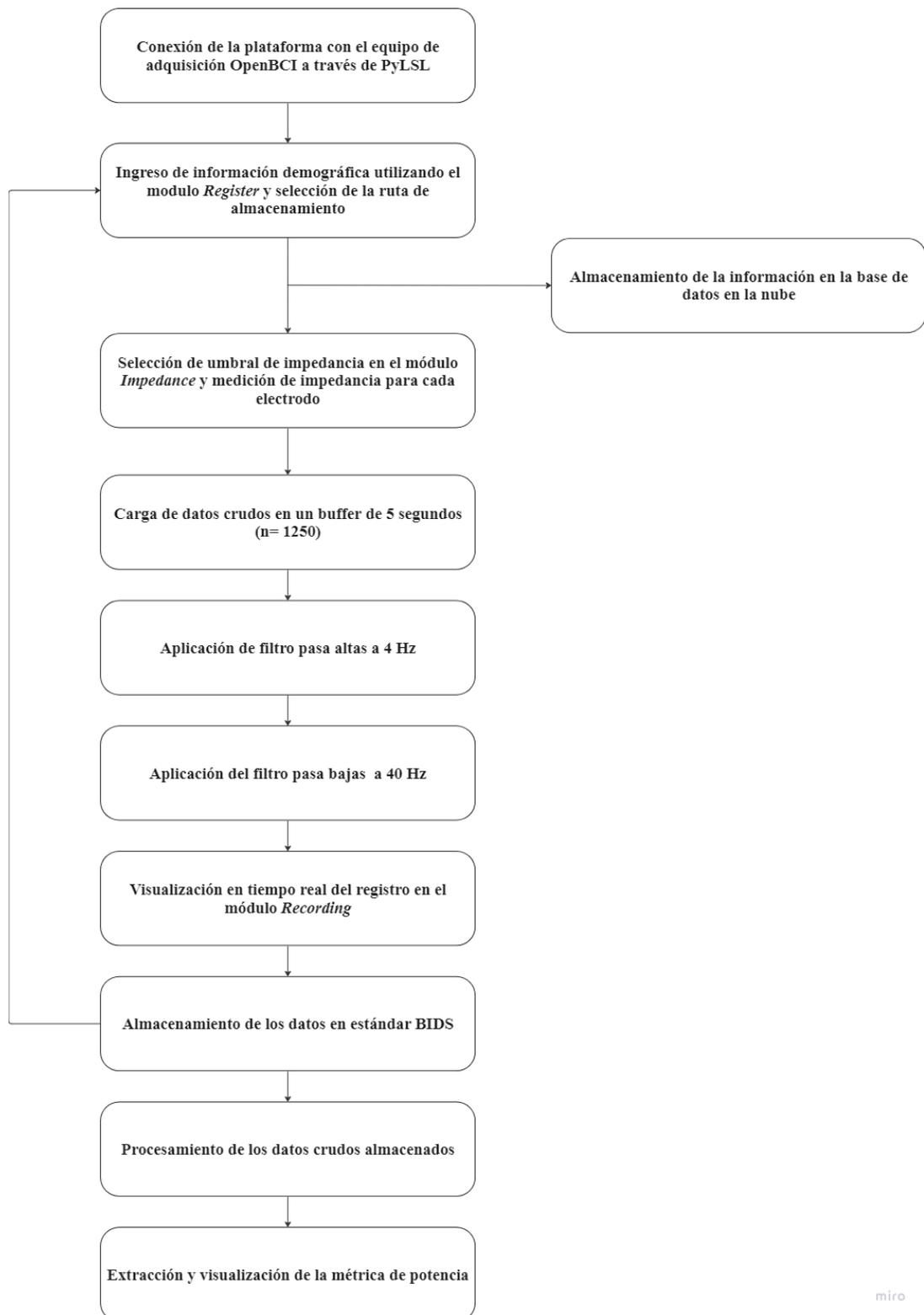


Fig. 12. Esquema general del flujo de la información en el software

El módulo de registro de la información permite registrar la información básica de un sujeto (nombre, edad, cédula y género), información de interés en el seguimiento de enfermedades neurodegenerativas (nivel de educación y años de escolaridad) e información del registro de EEG (El número del participante dentro del proyecto, el grupo, la visita y la tarea) como se muestra en la figura 13. Este módulo está diseñado bajo la estructura de formulario. Cada uno de los campos es validado con respecto al tipo de dato que debería contener (numérico o cadena de texto) para minimizar errores de escritura y utilizando menús desplegables. Se consideraron las variables de nivel de educación y años de escolaridad debido a que son de interés en el estudio de enfermedades neurodegenerativas. Los campos de No. De participante, grupo, visita y tarea permitieron el almacenamiento en estándar BIDS y llevar registro de las visitas de los sujetos del proyecto. Sumado a esto, el botón de guardar información permite almacenar la información en la base de datos en la nube. Finalmente, el botón seleccionar ruta permite seleccionar la ruta local para el almacenamiento de la señal.

The image shows a web browser window displaying the 'BrainView' registration form. The browser's address bar shows 'BrainView'. The navigation bar includes 'Register', 'Impedance', 'Recording', and 'Processing' tabs. The main content area is titled 'Registration Form' and contains several input fields and buttons. The fields are grouped into four sections marked with red circles and numbers 1 through 4. Section 1 includes 'Full Name', 'Age', 'Identification', and 'Gender'. Section 2 includes 'Educational Level' and 'Years of Schooling'. Section 3 includes 'No. Participant' and 'Group'. Section 4 includes 'Save info' and 'Select path' buttons. The 'Brain VIEW' logo is visible in the top right corner of the form area.

Fig. 13. Módulo de registro de la información. 1) corresponde a la información básica del sujeto. 2) Corresponde a la información educativa de relevancia para el proyecto. 3) corresponde a la información del registro. 4) Corresponde a los botones de guardado y de selección de ruta local.

Se automatizó el almacenamiento en estándar BIDS basado en la información proporcionada por los campos No. De participante, grupo, visita y tarea. Un ejemplo de la estructura se muestra a continuación:

```
señales/  
├── Sub-SAN001/  
│   ├── ses-V0  
│   │   ├── eeg  
│   │   │   ├── sub001-SAN_ses_ses-V0_task_CE_eeg.txt  
│   │   │   ├── sub001-SAN_ses_ses-V0_task_CE_eeg.fif  
│   │   │   ├── sub001-SAN_ses_ses-V0_task_DTAN_eeg.txt  
│   │   │   ├── sub001-SAN_ses_ses-V0_task_DTAN_eeg.fif  
│   │   │   └── ...  
└── Sub-SAN002/  
    ├── ses-V0  
    │   ├── eeg  
    │   │   ├── sub002-SAN_ses_ses-V0_task_CE_eeg.txt  
    │   │   ├── sub002-SAN_ses_ses-V0_task_CE_eeg.fif  
    │   │   ├── sub002-SAN_ses_ses-V0_task_DTAN_eeg.txt  
    │   │   ├── sub002-SAN_ses_ses-V0_task_DTAN_eeg.fif  
    │   │   └── ...  
└── Sub-n/
```

El módulo de medición de la impedancia se diseñó para el cálculo de la impedancia aproximada en cada uno de los electrodos para un sistema de 8 electrodos. En la fig. 14 se muestra cada una de las funcionalidades que tiene el módulo; Se debe seleccionar un umbral de impedancia como paso inicial. El posicionamiento de los cuadros es un esquema de la colocación de los electrodos físicos en la cabeza del sujeto. La variación del color depende del umbral; Si el valor de impedancia está por encima del valor umbral, se tiene color rojo; Por el contrario, si es inferior, el color es verde.

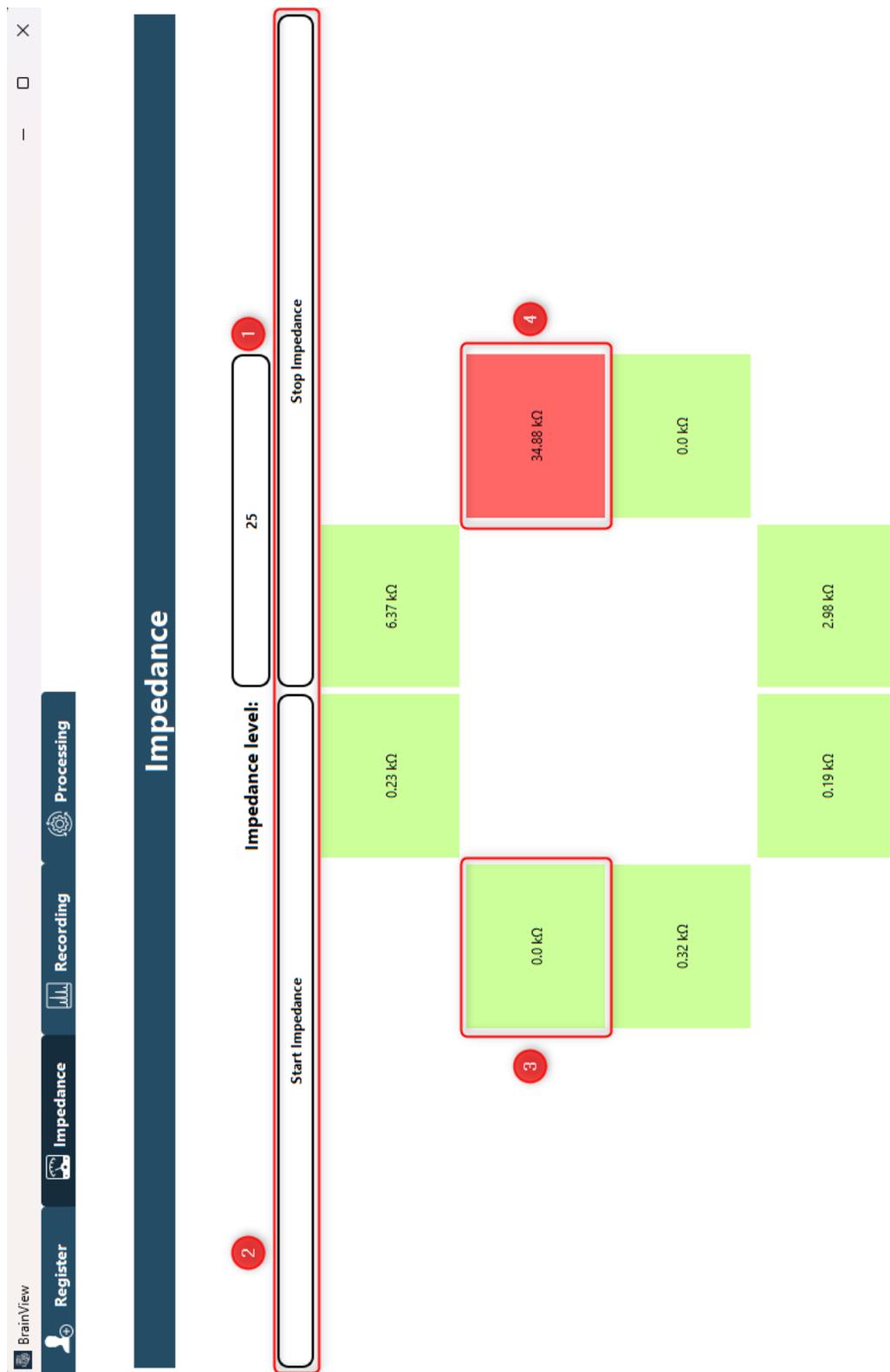
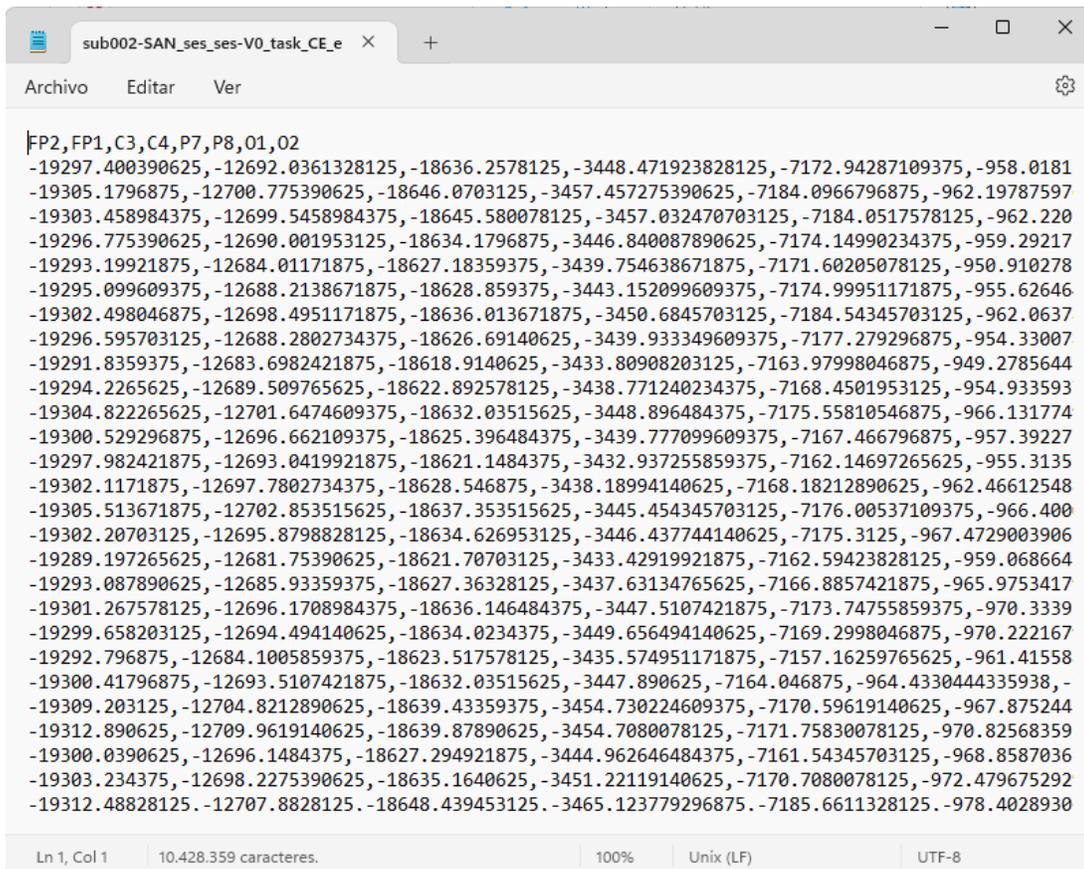


Fig. 14. Módulo de registro de la impedancia. 1) corresponde a selección del umbral de impedancia. 2) Corresponde a los botones que permiten comenzar el registro de impedancia y detenerlo. 3) Corresponde a un electrodo por debajo del umbral establecido. 4) Corresponde a un electrodo por encima del umbral establecido.

La ventana de registro en tiempo real se diseñó para la adquisición de la información desde el equipo OpenBCI con un montaje de 8 canales. En este módulo es posible comenzar, parar y guardar la señal adquirida. Para el protocolo utilizado en el proyecto, el color de los electrodos concuerda con el color de los canales y su ubicación. En adición a esto, se tiene un temporizador que permite la visualización de la duración de cada tarea. La totalidad de la ventana se muestra en la Fig. 16. La adquisición se realizó utilizando una capa de transmisión de datos que realiza el intercambio entre el equipo y el software. Inicialmente, la información es precargada en un buffer de 5 segundos ($n = 1250$ muestras) y seguidamente se aplica un filtro pasa altas a 4 Hz y un filtro pasa bajas a 40 Hz. Luego de aplicar el procesamiento, la señal es enviada de forma individual al espacio de cada canal. De forma simultánea, los datos crudos son almacenados en una matriz, la cual al oprimir el botón guardar, es escrita en un archivo de texto separado por comas con encabezado los canales que se utilizaron en el registro como se muestra en la Fig. 15.



```
FP2,FP1,C3,C4,P7,P8,O1,O2
-19297.400390625,-12692.0361328125,-18636.2578125,-3448.471923828125,-7172.94287109375,-958.0181
-19305.1796875,-12700.775390625,-18646.0703125,-3457.457275390625,-7184.0966796875,-962.19787597
-19303.458984375,-12699.5458984375,-18645.580078125,-3457.032470703125,-7184.0517578125,-962.220
-19296.775390625,-12690.001953125,-18634.1796875,-3446.840087890625,-7174.14990234375,-959.29217
-19293.19921875,-12684.01171875,-18627.18359375,-3439.754638671875,-7171.60205078125,-950.910278
-19295.099609375,-12688.2138671875,-18628.859375,-3443.152099609375,-7174.99951171875,-955.62646
-19302.498046875,-12698.4951171875,-18636.013671875,-3450.6845703125,-7184.54345703125,-962.0637
-19296.595703125,-12688.2802734375,-18626.69140625,-3439.933349609375,-7177.279296875,-954.33007
-19291.8359375,-12683.6982421875,-18618.9140625,-3433.80908203125,-7163.97998046875,-949.2785644
-19294.2265625,-12689.509765625,-18622.892578125,-3438.771240234375,-7168.4501953125,-954.933593
-19304.822265625,-12701.6474609375,-18632.03515625,-3448.896484375,-7175.55810546875,-966.131774
-19300.529296875,-12696.662109375,-18625.396484375,-3439.777099609375,-7167.466796875,-957.39227
-19297.982421875,-12693.0419921875,-18621.1484375,-3432.937255859375,-7162.14697265625,-955.3135
-19302.1171875,-12697.7802734375,-18628.546875,-3438.18994140625,-7168.18212890625,-962.46612548
-19305.513671875,-12702.853515625,-18637.353515625,-3445.454345703125,-7176.00537109375,-966.400
-19302.20703125,-12695.8798828125,-18634.626953125,-3446.437744140625,-7175.3125,-967.4729003906
-19289.197265625,-12681.75390625,-18621.70703125,-3433.42919921875,-7162.59423828125,-959.068664
-19293.087890625,-12685.93359375,-18627.36328125,-3437.63134765625,-7166.8857421875,-965.9753417
-19301.267578125,-12696.1708984375,-18636.146484375,-3447.5107421875,-7173.74755859375,-970.3339
-19299.658203125,-12694.494140625,-18634.0234375,-3449.656494140625,-7169.2998046875,-970.222167
-19292.796875,-12684.1005859375,-18623.517578125,-3435.574951171875,-7157.16259765625,-961.41558
-19300.41796875,-12693.5107421875,-18632.03515625,-3447.890625,-7164.046875,-964.4330444335938,-
-19309.203125,-12704.8212890625,-18639.43359375,-3454.730224609375,-7170.59619140625,-967.875244
-19312.890625,-12709.9619140625,-18639.87890625,-3454.7080078125,-7171.75830078125,-970.82568359
-19300.0390625,-12696.1484375,-18627.294921875,-3444.962646484375,-7161.54345703125,-968.8587036
-19303.234375,-12698.2275390625,-18635.1640625,-3451.22119140625,-7170.7080078125,-972.479675292
-19312.48828125,-12707.8828125,-18648.439453125,-3465.123779296875,-7185.6611328125,-978.4028930
```

Fig. 15. Datos crudos almacenados en archivo .txt

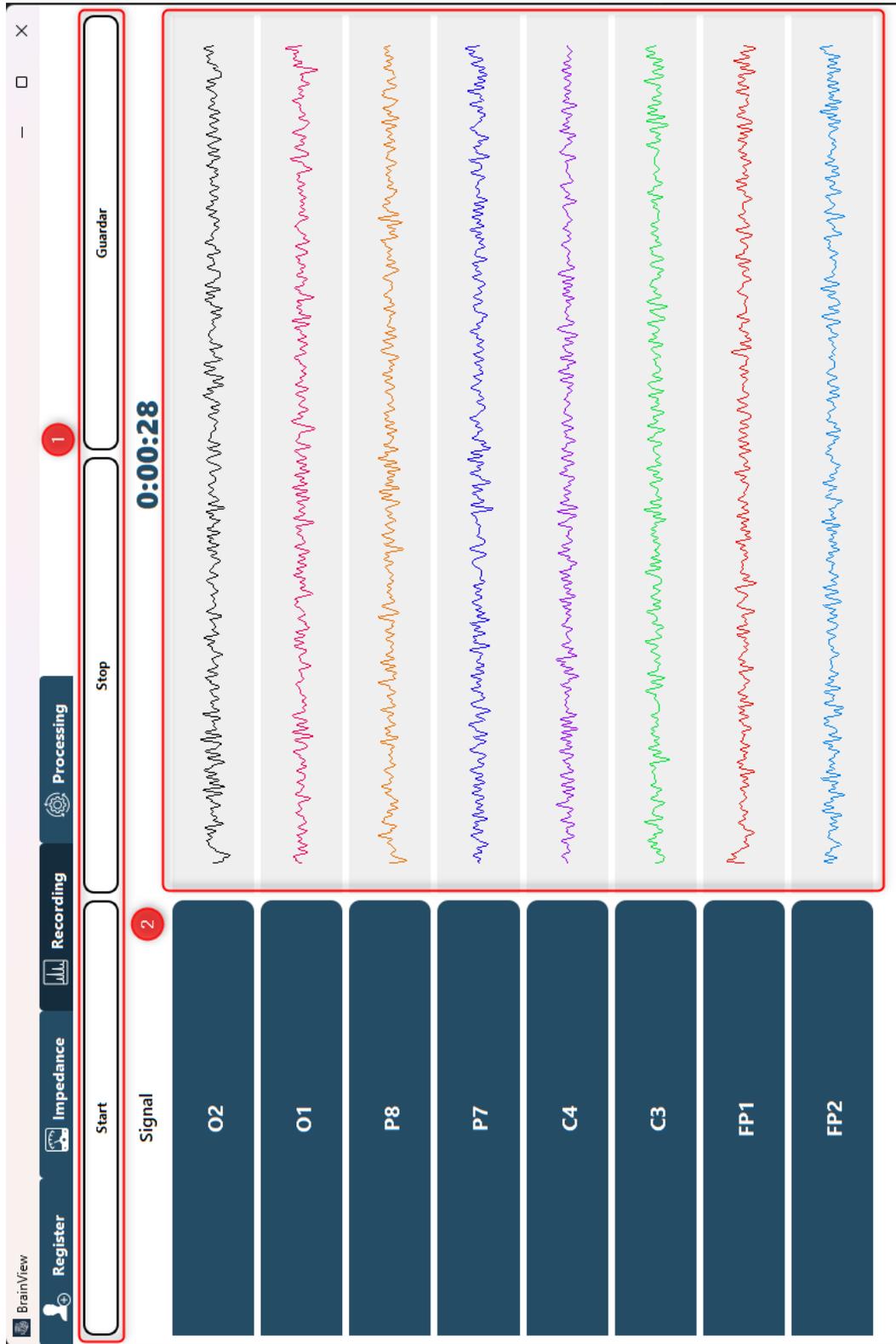


Fig. 16. 1) Corresponde a los botones que permiten iniciar, detener y/o guardar un registro. 2) Corresponde al espacio destinado a la visualización en tiempo real de cada uno de los canales.

Al realizar el análisis de desempeño en una prueba durante 1 hora, se obtuvo el resultado mostrado en la figura 17. El total de tiempo consumido por el módulo de vista es de 141 segundos. El CProfiler nos permitió desglosar y visualizar los tiempos de ejecución de cada una de las funciones involucradas en los distintos módulos del sistema. El módulo de vista fue identificado como el componente más demandante en términos de tiempo de ejecución. Esto se debe a que este módulo es responsable de la visualización en tiempo real de las señales, lo cual implica un uso intensivo de elementos gráficos. La representación gráfica en tiempo real de datos es un proceso costoso computacionalmente, especialmente si se actualizan con alta frecuencia.

Para evaluar el impacto del hardware gráfico en el rendimiento del sistema, se realizaron pruebas en dos configuraciones de computador: Computador con tarjeta gráfica dedicada y computador sin tarjeta gráfica dedicada. el computador con tarjeta gráfica dedicada tiene una capacidad gráfica significativamente superior, lo que se traduce en un rendimiento mejorado en la visualización en tiempo real. De forma visual, se pudo observar que la fluidez era mejor en el computador con tarjeta gráfica dedicada.

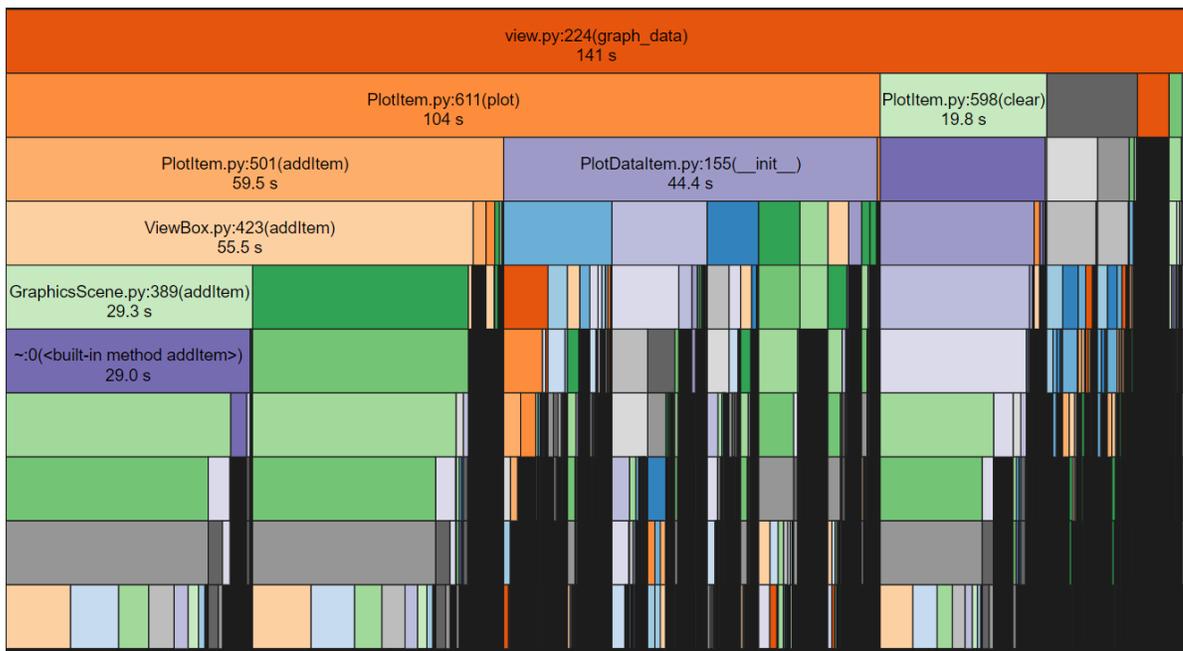


Fig. 17. Perfil de tiempos de ejecución.

Finalmente, se construyó un módulo para el procesamiento de señales previamente guardadas y la visualización de la métrica de potencia. Para este módulo no es necesario que las señales sean registradas bajo el software, pero sí que se guarden bajo la estructura del archivo .txt. Este módulo permite la carga de archivos en estándar BIDS y permite visualizar y extraer la potencia relativa. El módulo se muestra en la fig. 18. Para obtener la métrica de potencia relativa, los datos son precargados de una matriz a los cuales se les aplica una eliminación de tendencias lineales, un filtro pasa altas a 4 Hz, un filtro wavelet de 8 niveles utilizando la onda db6 con un umbral universal tipo duro y un filtro pasa bajas de 40 Hz. Finalmente, se obtiene el espectro de la señal utilizando el método de Welch con una ventana tipo Hann, un nperseg igual al doble de la frecuencia de muestreo y un noverlap igual a la frecuencia de muestreo. Seguidamente, se realiza la sumatoria de la potencia en todo el espectro y se divide la señal en bandas (theta, Alpha, beta y gamma).



Fig. 18. 1) Corresponde a los botones para seleccionar la carpeta a procesar y el botón para procesar y la selección de características.2) Corresponde al espacio de visualización de las características y un espacio de inspección visual.

C. Implementación de arquitectura de almacenamiento.

En segundo lugar, se diseñó una página web para el almacenamiento de los datos. La página mantiene la seguridad bajo un proceso de log in sólo para usuarios registrados. La ventana de inicio se muestra en la fig. 19.

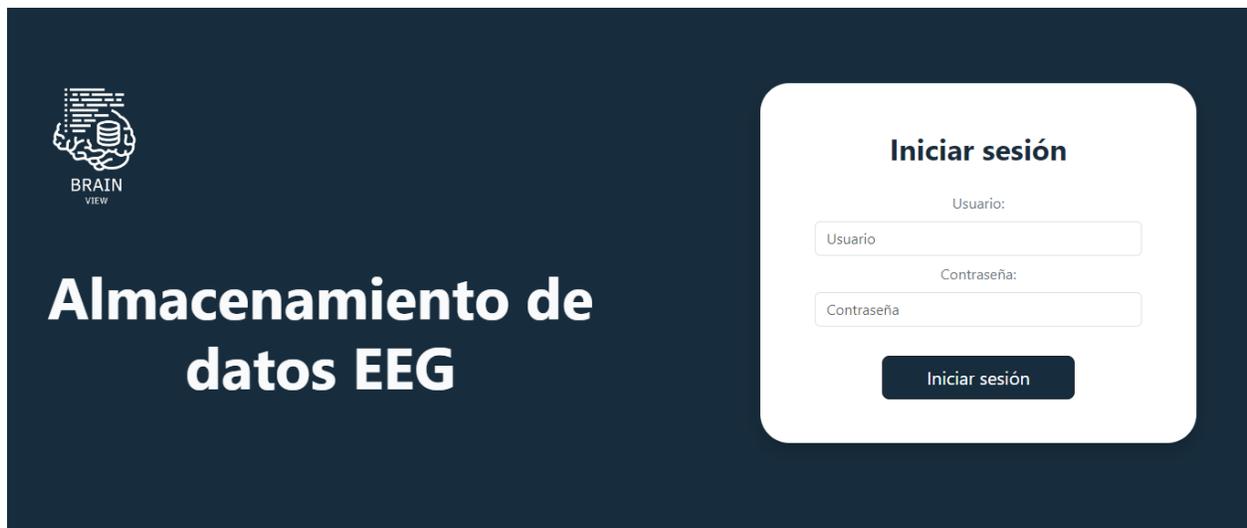


Fig. 19. Página de inicio del software en la nube.

Para el seguimiento de las variables demográficas se creó un dashboard (fig. 20) para la visualización de los pacientes registrados en la base de datos (distribución de edades y de género) y adicional una visualización tabular como se muestra en la fig. 21. La información se almacena en una única tabla de SQL donde la clave pertenece a la cédula del sujeto. La información es cargada en el momento que desde el módulo de registro de la información demográfica del paciente se presiona el botón guardar información, lo cual permite la conexión de la aplicación local con la página web. Lo anterior, permite que la plataforma tenga interconexión entre diferentes equipos que tengan la aplicación de escritorio instalada. La arquitectura web fue desplegada en Railway [40]. Se decidió utilizar Railway ya que es un servicio de bajo costo que se alinea con los objetivos de portabilidad y disponibilidad, y adicionalmente permitió la conexión directa con el repositorio de GitHub, lo que facilitó el despliegue de la aplicación directamente desde el repositorio.

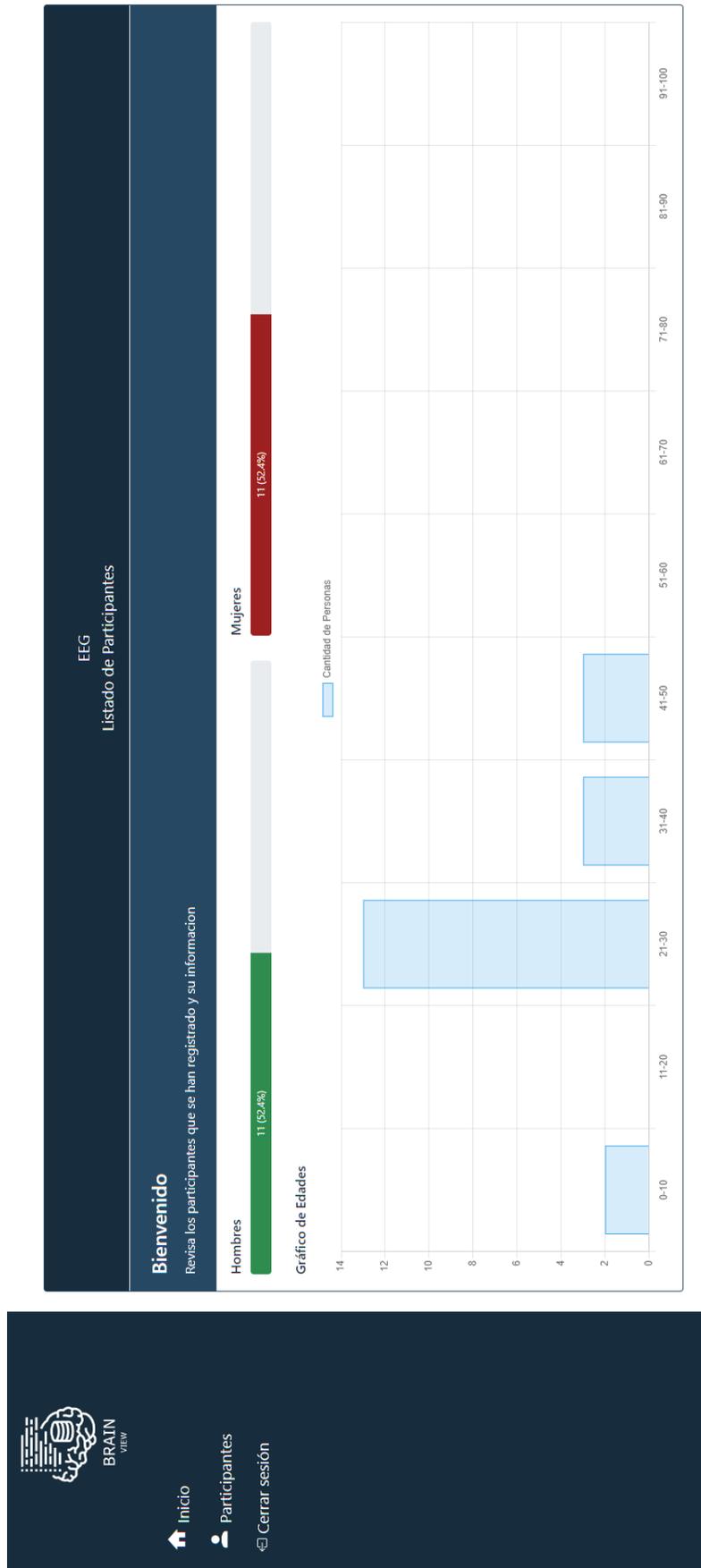


Fig. 20. Dashboard para las variables demográficas de distribución de los registros con respecto al sexo y a la edad.



**BRAIN
VIEW**

Inicio

Participantes

Cerrar sesión

Listado de Participantes

Filtro por cédula

Ingrese número de cédula

Filtrar

Sujeto	Nombre	Edad	Cedula	Genero	Años de escolaridad	Grupo	Cod_participante	Visita	Tarea	Fecha
30	[Redacted]	24	[Redacted]	Female	14	SAN	sub-SAN0030	ses-V0	CE	March 31, 2024
28	[Redacted]	28	[Redacted]	Female	15	SAN	sub-SAN0028	ses-V0	CE	April 3, 2024
28	[Redacted]	28	[Redacted]	Female	15	SAN	sub-SAN0028	ses-V0	ST1	April 3, 2024
28	[Redacted]	28	[Redacted]	Female	15	SAN	sub-SAN0028	ses-V0	ST2	April 3, 2024
28	[Redacted]	28	[Redacted]	Female	15	SAN	sub-SAN0028	ses-V0	DTAN	April 3, 2024
28	[Redacted]	28	[Redacted]	Female	15	SAN	sub-SAN0028	ses-V0	DTF	April 3, 2024
28	[Redacted]	28	[Redacted]	Female	15	SAN	sub-SAN0028	ses-V0	DTV	April 3, 2024
28	[Redacted]	28	[Redacted]	Female	15	SAN	sub-SAN0028	ses-V0	DTS1	April 3, 2024
28	[Redacted]	28	[Redacted]	Female	15	SAN	sub-SAN0028	ses-V0	DTS7	April 3, 2024
28	[Redacted]	28	[Redacted]	Female	15	SAN	sub-SAN0028	ses-V0	DTCT	April 3, 2024

Fig. 21. Visualización tabular de los registros almacenados. En esta página es posible realizar búsquedas por paciente utilizando el campo de filtrado por cédula y el botón filtrar.

D. Validación de la plataforma.

Durante los últimos tres meses del proyecto se realizaron pruebas sobre una muestra de la población participante del proyecto “Evaluación de la actividad eléctrica cerebral en sujetos con deterioro cognitivo mediante electroencefalografía portable y modelos de Machine Learning”. Las pruebas se realizaron en un consultorio del grupo de neurociencias cognitivas en la sede prado del hospital Alma Mater de Antioquia. Lo anterior permitió realizar pruebas en ambientes no controlados y medir el desempeño del equipo en el entorno objetivo de la tecnología. Las pruebas fueron llevadas a cabo siguiendo el protocolo de registro del proyecto y con previo consentimiento de los sujetos sin representar ningún riesgo para los usuarios y sujetos.

Durante las pruebas las personas desarrollaron tareas de movimiento y habla como se muestra en la figura 22. En total, se registraron 40 participantes, cada uno con 23 pruebas y con un tiempo de registro entre una hora y dos horas. Únicamente durante el primer registro la interfaz presentó fallas con respecto a la escritura del archivo .txt y que fue corregido para las demás pruebas. Adicionalmente, la interfaz presentó fallas al escribir el archivo .fif puesto que en ocasiones no se realizó la conversión de .txt a .fif. Lo anterior no se consideró crítico puesto que no hubo pérdida de la información, pero si necesario, puesto que para mantener el estándar BIDS es necesario conservar el formato.



Fig. 22. Desarrollo de prueba de la plataforma en un consultorio con personal médico

Finalmente, en las pruebas finales el guardado de la información en la base de datos de la nube se interrumpió con la desconexión a internet. Este incidente si bien no permitió el almacenamiento de la información demográfica en la base de datos, las señales de los registros permanecían seguros de forma local.

Aunque en las pruebas se presentaron otros errores como archivos mal nombrados o mal manejo de los botones de comenzar, detener y guardar registro, estos errores se asociaron a errores humanos y se solucionaron modificando los protocolos de registro.

En resumen, únicamente se presentaron problemas asociados al almacenamiento de los datos del registro que representaran un riesgo en una de las cuarenta pruebas, y los problemas asociados al almacenamiento de los datos en la nube fueron identificados como un problema de conexión a internet, pero no de la plataforma.

IX. CONCLUSIONES

La plataforma de adquisición de señales de EEG BrainVIEW permite la adquisición, visualización, procesamiento, almacenamiento y manejo de los datos bajo estándares establecidos dentro de la comunidad científica como el estándar BIDS, de una manera ágil y segura con el uso de dispositivos portables como el OpenBCI. La adopción de un enfoque mixto que incorpora métodos cualitativos y cuantitativos permitió una comprensión completa de las necesidades de los usuarios y proporciona una base sólida para el diseño y la implementación del aplicativo.

La fase inicial de investigación que incluye seguir una metodología de codiseño permite identificar las necesidades reales de los usuarios de plataforma. Estas interacciones con los usuarios finales guiaron el proceso de levantamiento de requisitos, identificando las tareas de mayor relevancia que debía desempeñar la plataforma.

El desarrollo de la interfaz de usuario se llevó a cabo utilizando tecnologías como Python y PyQt6, lo que permitió desarrollar una interfaz intuitiva y que permite una integración con el hardware de registro OpenBCI, además de esto, el implementar estas librerías en el desarrollo de la interfaz permite tener una interfaz que se puede ejecutar en diferentes dispositivos con diferentes características. Dentro del desarrollo de tecnologías biomédicas basadas en bioseñales es fundamental tener en cuenta el procesamiento de las señales obtenidas, la plataforma BrainVIEW permite el procesamiento de señales y la visualización de métricas como lo es la potencia.

La plataforma BrainVIEW permite el registro de los datos demográficos y variables de interés en el seguimiento de enfermedades neurodegenerativas para su posterior almacenamiento en una base de datos MySQL llevando así un registro de los sujetos de un proyecto, permitiendo una organización eficiente y un fácil acceso a los datos adquiridos.

Durante el registro se pueden visualizar señales en tiempo real proveniente de los electrodos; Aunque la vectorización mejora la visualización en tiempo real y el procesamiento respecto a plataformas que no son basadas en librerías vectorizadas, las características del ordenador determinan la fluidez de la interfaz, hecho que se evidenció durante las pruebas de tiempos de ejecución y las pruebas de validación.

La validación de la plataforma se llevó a cabo a través de pruebas con estudiantes de pregrado y participantes del proyecto, lo que confirmó la funcionalidad y usabilidad del aplicativo en diferentes contextos de uso. Estos resultados respaldan la efectividad y la relevancia de la

plataforma en entornos no controlados, ofreciendo una herramienta poderosa para la adquisición y análisis de datos EEG.

X. RECOMENDACIONES

El desarrollo de tecnología es un área de constante cambio y por esta naturaleza dinámica se sugiere actualizar las librerías y softwares, explorar la incorporación de nuevas características y funcionalidades que mejoren la experiencia de usuario y ampliar las capacidades de la plataforma. Con el crecimiento potencial en el uso de la plataforma, es importante evaluar su escalabilidad y rendimiento para garantizar que pueda manejar cargas de trabajo crecientes de manera eficiente.

Dado el valor y la sensibilidad de los datos que se recopilan con la plataforma se recomienda explorar nuevas opciones para el almacenamiento de estos datos, como lo es explorar plataformas de despliegue diferentes de Railway para el almacenamiento de datos que den mayor capacidad de almacenamiento. Adicionalmente, se propone la revisión de metodologías para garantizar la seguridad de los datos en entornos de desconexión de internet o con redes inestables.

En las entrevistas realizadas algunas personas recomendaron la ampliación de la plataforma en el ámbito clínico. Para ello se necesita conocer los requerimientos y necesidades de los profesionales de la salud más enfocado al diagnóstico y prevención de enfermedades que de la visualización y adquisición de señales.

REFERENCIAS

- [1] What is Alzheimer's? (2023). Alzheimer's Disease and Dementia. <https://www.alz.org/alzheimers-dementia/what-is-alzheimers>
- [2] "Understanding Parkinson's," Parkinson's Foundation, 2023. <https://www.parkinson.org/understanding-parkinsons>.
- [3] H. Hampel et al., "Perspective on future role of biological markers in clinical therapy trials of Alzheimer's disease: A long-range point of view beyond 2020," *Biochemical Pharmacology*, vol. 88, no. 4, pp. 426–449, Apr. 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2013.11.009>.
- [4] E. Basar, "A review of alpha activity in integrative brain function: Fundamental physiology, sensory coding...," *ResearchGate*, Jul. 17, 2012. https://www.researchgate.net/publication/229436291_A_review_of_alpha_activity_in_integrative_brain_function_Fundamental_physiology_sensory_coding_cognition_and_pathology
- [5] J. R. Hughes, "Electroencephalography. Basic principles, clinical applications and related fields," *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, vol. 54, no. 4, pp. 473–474, Oct. 1982, doi: [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(82\)90213-9](https://doi.org/10.1016/0013-4694(82)90213-9).
- [6] "Low-cost Biosensing Starter Bundle," *OpenBCI Online Store*, 2015. <https://shop.openbci.com/products/low-cost-biosensing-starter-bundle> (accessed May 19, 2024).
- [7] "Electroencefalografo Digital Computacional 32 Canales Contec Mapping System Software," *Instrumentalia S.A.S.*, Feb. 29, 2024. <https://instrumentalia.com.co/medicina/61318-electroencefalografo-digital-computacional-32-canales-contec-mapping-system-software.html> (accessed May 19, 2024).
- [8] F. Lopes, "EEG and MEG: Relevance to Neuroscience," *Neuron*, vol. 80, no. 5, pp. 1112–1128, Dec. 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.10.017>.
- [9] "Cyton Biosensing Board (8-channels)," *OpenBCI Online Store*, 2015. <https://shop.openbci.com/products/cyton-biosensing-board-8-channel> (accessed May 19, 2024).
- [10] C. R. Pernet et al., "EEG-BIDS, an extension to the brain imaging data structure for electroencephalography," *Scientific data*, vol. 6, no. 1, Jun. 2019, doi: <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0104-8>.
- [11] World Health Organization. (2020). Dementia. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dementia>
- [12] Prince, M., Ali, G. C., Guerchet, M., Prina, A. M., Albanese, E., & Wu, Y. T. (2016). Recent global trends in the prevalence and incidence of dementia, and survival with dementia. *Alzheimer's Research & Therapy*,
- [13] M. Rashid et al., "Current Status, Challenges, and Possible Solutions of EEG-Based Brain-Computer Interface: A Comprehensive Review," *Frontiers in neurorobotics*, vol.

- 14, Jun. 2020, doi: <https://doi.org/10.3389/fnbot.2020.00025>.
- [14] Babiloni, C., Del Percio, C., Lizio, R., Noce, G., Cordone, S., Lopez, S., ... & Soricelli, A. (2019). Abnormalities of cortical neural synchronization mechanisms in patients with dementia due to Alzheimer's and Lewy body diseases: an EEG study. *Neurobiology of Aging*.
- [15] J. Minguillon, Miguel Angel Lopez, and Francisco José Pelayo, "Trends in EEG-BCI for daily-life: Requirements for artifact removal," ResearchGate, Jan. 31, 2017. https://www.researchgate.net/publication/308369515_Trends_in_EEG-BCI_for_daily-life_Requirements_for_artifact_removal
- [16] Lebedev, M. A., & Nicolelis, M. A. (2006). Brain-machine interfaces: past, present and future. *Trends in neurosciences*, 29(9), 536–546. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2006.07.004>
- [17] K. L. Lopez, A. D. Monachino, S. Morales, S. C. Leach, M. E. Bowers, and L. J. Gabard-Durnam, "HAPPILEE: HAPPE In Low Electrode Electroencephalography, a standardized pre-processing software for lower density recordings," *NeuroImage*, vol. 260, pp. 119390–119390, Oct. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2022.119390>.
- [18] R. Cassani, T. H. Falk, F. J. Fraga, M. Cecchi, D. K. Moore, and R. Anghinah, "Towards automated electroencephalography-based Alzheimer's disease diagnosis using portable low-density devices," *Biomedical signal processing and control*, vol. 33, pp. 261–271, Mar. 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2016.12.009>.
- [19] Morales Tovar, Y. C., y Villa Alvarez, M. C. "Sistema de procesamiento y visualización de señales EEG en tiempo real para pacientes durante anestesia general", trabajo de grado, bioingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, 2022.
- [20] Biasiucci, A., Franceschiello, B., & Murray, M. M. (2019). Electroencephalography. *Current biology: CB*, 29(3), R80–R85. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.11.052>
- [21] Yao, D., Qin, Y., Hu, S. et al. Which Reference Should We Use for EEG and ERP practice?. *Brain Topogr* 32, 530–549 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10548-019-00707-x>
- [22] El. (2020, April 30). Localización de electrodos del EEG: Layout Fijo vs. Variable | Bitbrain. Bitbrain. <https://www.bitbrain.com/es/blog/colocacion-electrodos-eeeg>
- [23] Qi, G., Zhao, S., Ceder, A. A., Guan, W., & Yan, X. (2021). Wielding and evaluating the removal composition of common artefacts in EEG signals for driving behaviour analysis. *Accident; analysis and prevention*, 159, 106223. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106223>
- [24] Lopera, "Clinical features of early-onset Alzheimer disease in large kindred with an E280A presenilin-1 mutation," *JAMA*, vol. 277, no. 10, 2023, Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9052708/>
- [25] Laura Ramirez Aguilar et al., "Genetic origin of a large family with a novel PSEN1 mutation (Ile416Thr)," *Alzheimers & Dementia*, vol. 15, no. 5, pp. 709–719, Feb. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2018.12.010>
- [26] L. V. Kalia and A. E. Lang, "Parkinson's disease," *The Lancet*, vol. 386, no. 9996, pp. 896–912, Aug. 2015, doi: [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(14\)61393-3](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(14)61393-3)

-
- [27] A. Serrano-Pozo, M. P. Frosch, Eliezer Masliah, and B. T. Hyman, “Neuropathological Alterations in Alzheimer Disease,” *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, vol. 1, no. 1, pp. a006189–a006189, Sep. 2011, doi: <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a006189>.
- [28] J. Jeong, “EEG dynamics in patients with Alzheimer’s disease,” *Clinical Neurophysiology*, vol. 115, no. 7, pp. 1490–1505, Jul. 2004, doi: <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2004.01.001>.
- [29] Babiloni, C., Del Percio, C., Caroli, A., Salvatore, E., Nicolai, E., Marzano, N., ... & Soricelli, A. (2016). Cortical sources of resting state EEG rhythms are related to brain hypometabolism in subjects with Alzheimer’s disease: an EEG-PET study. *Neurobiology of Aging*, 48, 122-134. doi:10.1016/j.neurobiolaging.2016.08.019
- [30] Erol Başar and Bahar Güntekin, “Review of delta, theta, alpha, beta, and gamma response oscillations in neuropsychiatric disorders,” *Supplements to Clinical neurophysiology*, pp. 303–341, Jan. 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-7020-5307-8.00019-3>.
- [31] V. Litvak et al., “Resting oscillatory cortico-subthalamic connectivity in patients with Parkinson’s disease,” *Brain*, vol. 134, no. 2, pp. 359–374, Dec. 2010, doi: <https://doi.org/10.1093/brain/awq332>.
- [32] . Babiloni et al., “Abnormal fronto-parietal coupling of brain rhythms in mild Alzheimer’s disease: a multicentric EEG study,” *European Journal of Neuroscience*, vol. 19, no. 9, pp. 2583–2590, May 2004, doi: <https://doi.org/10.1111/j.0953-816x.2004.03333.x>.
- [33] Casson A. J. (2019). Wearable EEG and beyond. *Biomedical engineering letters*, 9(1), 53–71. <https://doi.org/10.1007/s13534-018-00093-6>
- [34] T. O. Zander and C. Kothe, “Towards passive brain–computer interfaces: applying brain–computer interface technology to human–machine systems in general,” *Journal of Neural Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 025005–025005, Mar. 2011, doi: <https://doi.org/10.1088/1741-2560/8/2/025005>.
- [35] E. Huang, X. Zheng, Y. Fang, and Z. Zhang, “Classification of Motor Imagery EEG Based on Time-Domain and Frequency-Domain Dual-Stream Convolutional...,” *ResearchGate*, Apr. 2021. https://www.researchgate.net/publication/351244488_Classification_of_Motor_Imagery_EEG_Based_on_Time-Domain_and_Frequency-Domain_Dual-Stream_Convolutional_Neural_Network
- [36] A. Widmann, E. Schörger, and B. Maess, “Digital filter design for electrophysiological data—a practical approach,” *Journal of neuroscience methods*, vol. 250, pp. 34–46, 2015.
- [37] S. G. Mallat, “A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation,” *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 11, no. 7, pp. 674–693, 1989.
- [39] https://drive.google.com/file/d/112J3dS-jFRZZMOH-IHKO4G_EkmxGOIzr/view?usp=sharing
- [40] “Railway,” *Railway*, 2024. <https://railway.app/> (accessed May 09, 2024).

ANEXOS

Anexo A: Protocolo de codiseño.



**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**TÍTULO
PROTOCOLO DE CO-DISEÑO**

POR
Santiago González Cuartas
Eduardo Montoya Guevara

TABLA DE CONTENIDO

I.Acercamiento inicial:	53
a. Criterios de inclusión en la fase de descubrimiento	53
b. Protocolo de entrevista	53
II.Diseño Colaborativo	54
a. Talleres de diseño	54
III.Proto iteración	55
a. Presentación producto mínimo viable	55
b. Retroalimentación mediante EMAP	55

Acercamiento inicial

La fase de descubrimiento se llevará a cabo mediante entrevistas individuales con las personas seleccionadas. En esta fase se busca entender la necesidad de los usuarios finales, sus previas experiencias y el contexto actual para cada uno de los usuarios. El objetivo final de la fase de descubrimiento será identificar las variables de diseño de acuerdo con las necesidades identificadas.

Criterios de inclusión en la fase de descubrimiento

Se incluirán estudiantes de pregrado, estudiantes de posgrado y profesionales que hayan tenido contacto con herramientas de electroencefalografía, desde la adquisición hasta el procesamiento de los datos, en el ámbito investigativo. Se tomará una muestra de 15 sujetos.

Protocolo de la entrevista

Se llevarán a cabo entrevistas de máximo 30 minutos, en las cuales se realizará grabación de audio y se tomarán de los puntos relevantes para la identificación de las variables de diseño. Las entrevistas serán llevadas a cabo de forma individual. Se realizarán 10 preguntas y el entrevistado tendrá un tiempo máximo de 3 minutos por pregunta. Se recolectarán datos básicos como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Requerimientos de datos básicos

Datos básicos	
Fecha	
Nombre y apellido	
Edad	
Ocupación	
Tiempo en años que ha trabajado o trabajo con electroencefalografía EEG	
Fecha del primer contacto con electroencefalografía (EEG)	
Fecha del último contacto con electroencefalografía (EEG)	

Las preguntas por realizar se listan a continuación:

1. ¿Cuáles herramientas para el registro de electroencefalografía ha utilizado o utilizó durante su experiencia?

2. ¿Con cuál herramienta se sintió más cómodo para durante su experiencia con electroencefalografía? ¿Por qué?
3. ¿Qué es lo que más le gusta del sistema que utiliza en este momento o utilizó en el pasado?
4. ¿Cuál cree que es el mayor reto al momento de realizar un registro de electroencefalografía?
5. ¿Cuánto tiempo dedica a problemas relacionados con las interfaces de usuario de EEG que ha utilizado?
6. ¿Cuál es la tarea fundamental para usted que una herramienta de adquisición de electroencefalografía debería cumplir además de adquirir?
7. ¿Cuáles características añadiría al sistema que utiliza o utilizó para la adquisición de señales?
8. ¿Cuál cree que es el mayor reto al momento de acceder a la información guardada con las plataformas que ha utilizado?
9. ¿Cuál cree que es el paso más importante desde la toma del registro hasta el análisis de datos durante la electroencefalografía?
10. ¿Cómo cree usted que impactan esos problemas asociados al sistema la calidad de los registros y la comodidad del paciente?

Diseño colaborativo

Talleres de diseño

En esta fase se llevará a cabo reuniones bien sean individuales o grupales para la realización del producto mínimo viable. En esta fase se buscará esbozar prototipos creados por los usuarios finales para la identificación de la forma de materializar sus necesidades. Se realizarán prototipos de la interfaz en papel. En estos talleres no existirán parámetros, puesto que la idea es poder el máximo de información a través de la ideación.

Proto iteración

Presentación del producto mínimo viable

Se presentará el producto obtenido luego de los talleres de diseño con la intención de mostrar las ideas viables reunidas durante la fase de diseño colaborativo. A partir de este primer prototipo de comenzará a iterar en tanto al diseño.

Retroalimentación mediante EMAP

Durante la fase de proto iteración se utilizará la estrategia de EMAP para evaluar las características finales que debe tener el producto y su viabilidad. Esta estrategia propone una matriz donde se deben incluir las características a eliminar, a modificar, a agregar y a potencializar.

