

Prototipo Experimental de BCI para el Seguimiento de Patrones Cerebrales en Pacientes en Rehabilitación de Drogas

Experimental BCI Prototype for Monitoring Brain Patterns in Drug Rehabilitation Patients

Fabián Andrés Espinoza Bazán¹, Cecilia Elizabeth Cabanilla Burgos², Francisco Gerardo Palacios Ortiz³, Dennisse Stephania Sánchez Andrade⁴, y Gabriel Gerardo Catuto Cuenca⁵

RESUMEN

Contexto: Esta investigación tiene por objetivo presentar una solución emergente basada en Tecnologías BCI para pacientes en terapia de rehabilitación de drogas. **Método:** El estudio presenta un marco introductorio sobre la expansión de los mercados ilícitos y el aumento del consumo global de drogas; de tal manera, destacando la necesidad de enfoques innovadores, como las interfaces cerebro-computadora (BCI), para mejorar la rehabilitación y personalización de tratamientos en adicciones. Posteriormente, se emplea un dispositivo EEG para captar señales cerebrales durante la rehabilitación de adicciones, procesadas con el software EEGLAB. Finalmente, los investigadores elaboraron un prototipo BCI para la monitorización en tiempo real de patrones cerebrales en pacientes en rehabilitación de adicciones. **Resultados:** Utilizando el dispositivo EEG Emotiv Insight y el software EEGLAB, se capturan y procesan señales cerebrales para personalizar terapias, mejorando la precisión y efectividad del tratamiento. **Conclusiones:** Los resultados iniciales muestran la capacidad del prototipo para detectar variaciones en la actividad cerebral, optimizando la intervención terapéutica y abriendo nuevas posibilidades en salud mental.

Palabras clave: Rehabilitación, Cerebro, BCI, Patrones cerebrales, EEG.

ABSTRACT

Context: This research aims to present an emerging solution based on BCI Technologies for patients in drug rehabilitation therapy. **Method:** This work presents an introductory framework on the expansion of illicit markets and the increase in global drug consumption; thus, highlighting the need for innovative approaches, such as brain-computer interfaces (BCI), to improve rehabilitation and personalize addiction treatments. Subsequently, an EEG device is used to capture brain signals during addiction rehabilitation, processed with EEGLAB software. Finally, the researchers developed a BCI prototype for real-time monitoring of brain patterns in patients in addiction rehabilitation. **Results:** Using the Emotiv Insight EEG device and EEGLAB software, brain signals are captured and processed to personalize therapies, improving the precision and effectiveness of the treatment. **Conclusions:** Initial results show the prototype's ability to detect variations in brain activity, optimizing therapeutic intervention and opening new possibilities in mental health.

Keywords: Rehabilitation, Brain, BCI, Brain patterns, EEG.

Fecha de recepción: Noviembre 22, 2024

Fecha de aceptación: Enero 22, 2025

Introducción

El informe mundial sobre las drogas 2023 de la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC) alerta sobre la continua expansión incontrolada de los mercados de drogas ilícitas en diversas regiones del mundo. Entre las principales preocupaciones identificadas, destaca el aumento en la producción de drogas sintéticas, la creciente accesibilidad a mercados globales a través de plataformas digitales (como redes sociales y chats en línea), y el incremento del tráfico de drogas en zonas de conflicto. Este panorama se ve acompañado por un aumento sostenido del consumo de sustancias, lo que agrava los problemas de salud pública y seguridad, además de generar presiones adicionales sobre los sistemas de atención y rehabilitación. En este contexto, la UNODC subraya la necesidad de enfoques

¹ BEng Multimedia, Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Ecuador. MSc Computer and Information Security, United Kingdom. Affiliation: Universidad de Guayaquil. Faculty of Mathematical and Physical Sciences: Lecturer, Ecuador. E-mail: fabian.espinozab@ug.edu.ec

² Computer Systems Engineer, Universidad de Guayaquil, Ecuador. M.Sc. Business Innovation Management, Universitat de Barcelona, Spain. Affiliation: Universidad de Guayaquil. Faculty of Mathematical and Physical Sciences: Lecturer, Ecuador. E-mail: cecilia.cabanillac@ug.edu.ec

³ Computer Systems Engineer, Universidad de Guayaquil, Ecuador. M.Sc. Telecommunications, Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Ecuador. Affiliation: Universidad de Guayaquil. Faculty of Mathematical and Physical Sciences: Professor, Ecuador. E-mail: francisco.palacioso@ug.edu.ec

⁴ Information Technology Engineer, Universidad de Guayaquil, Ecuador. Affiliation: Universidad de Guayaquil. Faculty of Mathematical and Physical Sciences: Student, Ecuador. E-mail: dennisse.sancheza@ug.edu.ec

⁵ Information Technology Engineer, Universidad de Guayaquil, Ecuador. Affiliation: Universidad de Guayaquil. Faculty of Mathematical and Physical Sciences: Student, Ecuador. E-mail: gabriel.catutoc@ug.edu.ec

Como citar: Espinoza Bazán, F. A. ., Cabanilla Burgos, C. E. ., Palacios Ortiz, F. G., Sánchez Andrade, D. S. ., & Catuto Cuenca, G. G. (2025). Prototipo Experimental de BCI para el Seguimiento de Patrones Cerebrales en Pacientes en Rehabilitación de Drogas. *Ecuadorian Science Journal*, 8(2), 22-27. DOI: <https://doi.org/10.46480/esj.8.2.204>

innovadores y multidimensionales para afrontar los retos derivados del consumo de drogas, que permitan abordar tanto los aspectos preventivos como los terapéuticos de manera más efectiva.

Según las últimas estimaciones, el número de personas que consumieron drogas en 2021 alcanzó los 296 millones, un aumento del 23% respecto a la década anterior. A su vez, el número de individuos con trastornos por consumo de drogas se ha incrementado en un 45% en los últimos diez años, alcanzando los 39.5 millones a nivel mundial (UNODC, 2023). Estos datos resaltan la magnitud de la crisis y la urgente necesidad de adaptar las estrategias de intervención a una realidad cada vez más compleja. En América Latina, la falta de datos actualizados sobre el consumo de drogas, como se señala en un artículo de Plan V sobre Ecuador, dificulta la implementación de políticas públicas eficaces. Desde 2015, el país no ha realizado un estudio oficial sobre el consumo de drogas, lo que ha dejado a las autoridades sin información precisa para desarrollar un plan de acción adaptado a las tendencias y características locales del consumo.

En este marco, la introducción de tecnologías innovadoras, como las interfaces cerebro-computadora (BCI, por sus siglas en inglés), emerge como una posible solución para mejorar la eficacia de los tratamientos de rehabilitación. Las BCI permiten la monitorización directa de la actividad cerebral mediante dispositivos externos, lo que brinda a los profesionales de la salud una visión en tiempo real de los procesos cognitivos y emocionales del paciente. Este tipo de tecnología tiene el potencial de ofrecer datos más objetivos y precisos sobre los patrones cerebrales asociados con la adicción y el proceso de recuperación. La capacidad de monitorizar estos patrones durante la rehabilitación puede permitir ajustes terapéuticos inmediatos, aumentando la efectividad de las intervenciones y mejorando la personalización de los tratamientos, una necesidad fundamental en la medicina moderna.

Sin embargo, la implementación de BCI en el ámbito de la rehabilitación de adicciones enfrenta varios desafíos, tanto técnicos como sociales. En términos técnicos, la comprensión y estandarización de los patrones cerebrales asociados con la adicción y la recuperación es una tarea compleja. El cerebro humano es altamente individualizado y sus respuestas a las terapias pueden variar significativamente de un paciente a otro. Por lo tanto, identificar patrones comunes y desarrollar algoritmos de análisis capaces de detectar variaciones sutiles en la actividad cerebral es un desafío fundamental para el éxito de las BCI en este contexto.

Desde el punto de vista clínico, otro reto importante es la aceptación y adaptación de estas tecnologías por parte de los profesionales de la salud. Aunque la tecnología de BCI ha avanzado significativamente, su adopción en entornos clínicos tradicionales puede encontrar resistencia debido a la falta de familiaridad con los métodos y la desconfianza en su efectividad. La formación continua de los profesionales de la salud y la educación de los pacientes sobre los beneficios y el funcionamiento de las BCI son pasos esenciales para superar estos obstáculos. Además, la validación científica de la efectividad de las BCI en el tratamiento de las adicciones es crucial para garantizar que su integración en los sistemas de salud sea segura y efectiva.

En resumen, las BCI representan una oportunidad significativa para mejorar la rehabilitación de adicciones, ofreciendo una nueva dimensión en la personalización y monitorización de tratamientos. Sin embargo, su implementación exitosa requerirá una integración cuidadosa entre la ciencia neurocognitiva, la tecnología,

y las prácticas clínicas tradicionales. La colaboración interdisciplinaria, la validación científica y la formación de profesionales son factores clave para maximizar el potencial de esta tecnología en la rehabilitación de adicciones y, a largo plazo, en otras áreas de la salud mental y la neurorrehabilitación.

Introducción a las Tecnologías BCI

Las interfaces cerebro-computadora (BCI) permiten una comunicación directa entre el cerebro y las computadoras, proporcionando información valiosa sobre los patrones cerebrales relacionados con el craving (deseo intenso de consumir sustancias), la regulación emocional y otros aspectos clave en el proceso de rehabilitación. Estos datos pueden ser utilizados para personalizar tratamientos, abordando de manera más efectiva las necesidades individuales de los pacientes. Las BCI tienen el potencial de revolucionar la rehabilitación de adicciones, al permitir la detección y registro de la actividad cerebral, traduciéndola en comandos que las computadoras pueden procesar. El prototipo experimental de BCI propuesto en esta tesis tiene como objetivo validar la eficacia de esta tecnología en la rehabilitación de adicciones, centrando la investigación en evaluar su efectividad con diversos pacientes seleccionados de una población específica.

El Proyecto BRAIN (Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies), anunciado por el presidente Barack Obama, busca proporcionar a los científicos herramientas para obtener imágenes del cerebro en acción, comprendiendo mejor cómo una persona piensa, aprende y memoriza. Además, tiene el potencial de desvelar los secretos detrás de enfermedades neurodegenerativas, como el Alzheimer, Parkinson y otras patologías psiquiátricas (Salinas, 2015).

El Emotiv Insight es un dispositivo EEG inalámbrico que captura y monitoriza la actividad cerebral con alta precisión. Ligero y fácil de usar, se conecta mediante Bluetooth y su batería recargable ofrece hasta 20 horas de uso continuo. Los sensores de polímero semiseco eliminan la necesidad de gel o solución salina, facilitando su uso en diversas aplicaciones. Este dispositivo, que incluye un casco neuronal de alta resolución con 14 canales y un giroscopio de dos ejes, se comunica por radiofrecuencia con la entrada USB de un computador para procesar señales y generar acciones cognitivas, afectivas y expresivas que pueden transformarse en comandos para controlar dispositivos (Monge Lay & Aracena Pizarro, 2015).

El electroencefalograma (EEG) es una herramienta crucial en neurología y neurociencia. Su capacidad para registrar la actividad cerebral en tiempo real lo convierte en una herramienta indispensable para el diagnóstico y manejo de trastornos neurológicos. Esta técnica utiliza electrodos colocados en el cuero cabelludo para capturar los impulsos eléctricos generados por las neuronas del cerebro, permitiendo el monitoreo preciso de la actividad cerebral.

Métodos y Materiales

Cuando una persona observa una imagen o un video, la información visual se procesa principalmente en el lóbulo occipital del cerebro. En este lóbulo, la corteza visual primaria recibe y analiza la información, permitiendo que el cerebro reconozca formas, colores y movimiento. Esta actividad cerebral genera señales eléctricas que pueden ser captadas por un electroencefalograma (EEG), reflejando la respuesta del cerebro a los estímulos visuales. Para el propósito de nuestro estudio, utilizaremos un dispositivo Emotiv para captar estas señales electroencefalográficas,

que serán procesadas y analizadas con el software EEGLAB (Bear, Connors & Paradiso, 2020).

El consumo de drogas afecta profundamente al cerebro, alterando diversas áreas y funciones. Las sustancias psicoactivas interfieren con el sistema de recompensa del cerebro, que regula la liberación de dopamina, un neurotransmisor responsable de generar sensaciones de placer y refuerzo. La estimulación excesiva de este sistema por parte de las drogas puede conducir a la adicción, ya que refuerza los comportamientos de búsqueda de la sustancia. Además, la corteza prefrontal, que desempeña un papel crucial en la toma de decisiones y el control de impulsos, se ve gravemente afectada. El deterioro de esta área disminuye la capacidad del individuo para evaluar las consecuencias de sus acciones, facilitando la recaída. Finalmente, la amígdala, encargada de la regulación emocional, puede volverse hiperactiva, incrementando la ansiedad y las respuestas al estrés, lo que complica aún más el proceso de recuperación (Koob & Volkow, 2016).

Para el desarrollo de este prototipo, es fundamental utilizar software capaz de capturar, procesar y analizar datos EEG. Un ejemplo de este tipo de software es EEGLAB, una herramienta gratuita diseñada en el lenguaje de programación MATLAB, bajo la licencia BSD (Berkeley Software Distribution). Este software ofrece compatibilidad con el equipo utilizado en el estudio, ya que permite procesar datos de electroencefalografía (EEG), magnetoencefalografía (MEG) y otras señales electrofisiológicas, proporcionando herramientas para la gestión de datos cerebrales en tiempo real. La combinación de hardware portátil y no invasivo con software versátil establece una base sólida para el desarrollo, implementación y validación del prototipo en un entorno clínico de rehabilitación de adicciones. Esta plataforma permite identificar de manera oportuna las respuestas de los pacientes ante los estímulos presentados, los cuales forman parte de su tratamiento.

El Emotiv Insight es un auricular EEG equipado con sensores secos que no requieren gel, lo que facilita su uso y configuración. Dispone de 5 canales de EEG y un giroscopio de 9 ejes para la detección de movimiento, además de conectividad Bluetooth para la transmisión de datos (EMOTIV, 2024). Para garantizar un rendimiento óptimo del sistema, será necesario contar con computadoras equipadas con procesadores rápidos, suficiente memoria RAM y almacenamiento de alta capacidad, así como plataformas compatibles como Windows y Linux.

Este prototipo podrá integrarse con sistemas de registros médicos electrónicos (EMR), lo que permitirá el almacenamiento seguro y organizado de los datos de los pacientes. La integración con EMR facilita el acceso a los datos clínicos y el seguimiento del progreso del paciente a lo largo del tiempo, lo que permitirá a los terapeutas ajustar las terapias de manera dinámica basándose en la retroalimentación instantánea de la actividad cerebral del paciente.

Este proyecto utiliza la metodología Waterfall para gestionar tanto el análisis teórico como práctico de los pacientes en tratamiento para la adicción a las drogas. En el ámbito teórico, la metodología Waterfall se aplicará para recopilar y analizar datos, permitiendo desarrollar estrategias basadas en los problemas y perfiles identificados en el uso de sustancias. Este enfoque estructurado facilitará la comprensión de los pacientes, agrupándolos según características similares.

En el ámbito práctico, una vez que se hayan recopilado las cualidades y características de los pacientes, se validarán los perfiles mediante la identificación de similitudes para su adecuada agrupación.

El objetivo principal del proyecto es mejorar la rehabilitación de pacientes adictos mediante el uso de tecnologías innovadoras, como las interfaces cerebro-computadora (BCI). Estas tecnologías buscarán reemplazar el sentimiento que experimentan al consumir drogas por actividades más saludables, como ejercicios, lectura o escuchar música. La transición hacia estas alternativas dependerá de los patrones comunes de los pacientes, determinados por los datos obtenidos.

La información recopilada provendrá de pacientes ubicados en los CETADs de Guayaquil, quienes participarán en pruebas piloto del prototipo experimental. Estos datos serán cruciales para mejorar las terapias de rehabilitación al integrar la retroalimentación en tiempo real proporcionada por las BCI. Esta retroalimentación permitirá ajustar y optimizar las terapias, favoreciendo una recuperación más rápida y efectiva de los pacientes.

Análisis y Diseño

En esta fase inicial, se recopilan los requisitos esenciales para el desarrollo del prototipo, lo cual se logró mediante entrevistas con terapeutas, pacientes en rehabilitación y otros interesados. También se especifican las características técnicas del hardware (Emotiv Insight) y del software que se utilizarán, así como las funcionalidades indispensables, como la captura de datos EEG, el procesamiento en tiempo real de estos datos y la generación de informes detallados sobre el progreso del paciente.

Requisitos técnicos:

Hardware

- **Tipo de dispositivo:** Auricular EEG portátil y no invasivo.
- **Canales de sensores:** 14 canales para capturar la actividad cerebral (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4).
- **Conectividad:** Inalámbrica mediante Bluetooth, lo que permite una transmisión eficiente de datos sin cables.
- **Duración de la batería:** Batería recargable con hasta 20 horas de uso continuo.
- **Material de los sensores:** Sensores de polímero conductivo hidrofílico que no requieren gel conductor, facilitando el uso y la limpieza (EMOTIV, 2024).

Software

- **Matlab:** Compatible con la versión mínima Matlab R2019a o superior. En este proyecto, se utiliza Matlab R2024a, que incluye mejoras en el manejo de ICA y nuevas opciones para procesar datos EEG.
- **EEGLAB:** Software de código abierto que funciona en Windows, Linux o Mac OS X. La versión más reciente es EEGLAB 14.1.1, que es compatible con Matlab.
- **Arquitectura de 64 bits:** Ambos programas requieren una arquitectura de 64 bits para funcionar correctamente.
- **Memoria RAM:** Se recomienda un mínimo de 8 GB, siendo ideal contar con 16 GB o más para trabajar con grandes volúmenes de datos.

- **Espacio en disco:** Se necesita al menos 5 GB de espacio libre.

El diseño del hardware y software de este proyecto ha sido meticulosamente planeado para asegurar la funcionalidad y precisión del prototipo de BCI. El dispositivo EEG Emotiv Insight fue seleccionado por su capacidad para capturar datos en tiempo real y su facilidad de uso. La configuración del hardware incluyó calibración inicial, sincronización Bluetooth con el sistema de procesamiento de datos y adaptación de los sensores para garantizar la comodidad del paciente durante el uso prolongado.

En cuanto al software, se eligió EEGLAB por su robustez en el procesamiento de señales EEG, permitiendo la captura, análisis y visualización de los datos en tiempo real. Este software maneja grandes volúmenes de datos y tiene módulos específicos para el filtrado de señales, detección de patrones cerebrales y generación de informes detallados, accesibles para los terapeutas mediante una interfaz intuitiva que facilita la toma de decisiones informadas sobre el tratamiento del paciente.

Implementación

La configuración del sistema BCI se basa en varios elementos clave que permiten el análisis y procesamiento adecuado de los datos EEG, integrando el casco Emotiv Insight con el software EEGLAB. Este dispositivo cuenta con 14 canales de registro ubicados en el cuero cabelludo del sujeto para captar la actividad eléctrica cerebral. Las señales adquiridas son transmitidas de forma inalámbrica vía Bluetooth a una computadora, donde se procesan mediante MATLAB y EEGLAB. El objetivo es aplicar técnicas de análisis específicas, como la **ICA (Análisis de Componentes Independientes)**, para separar las señales en componentes independientes. Esto facilita la identificación y eliminación de artefactos y permite estudiar redes neuronales específicas.

Configuración de EEGLAB

Durante la fase de instalación y configuración, se detectó una incompatibilidad entre las versiones de EEGLAB y MATLAB. La versión de EEGLAB utilizada no era compatible con la versión de MATLAB instalada, lo que impidió la instalación de los plugins necesarios para el procesamiento adecuado de los datos EEG. Esta incompatibilidad afectó la capacidad del software para generar las visualizaciones y realizar los análisis requeridos para interpretar la actividad cerebral de los pacientes.

Para superar esta limitación, se llevará a cabo un estudio piloto con un sujeto sano, con el fin de establecer una línea de base de la actividad electroencefalográfica (EEG) y los patrones de comportamiento asociados. Los datos obtenidos servirán como referencia para comparar los resultados de pacientes con trastornos neurológicos en fases posteriores del estudio.

A continuación, se presentan las capturas obtenidas en las pruebas piloto, las cuales arrojaron resultados exitosos en la implementación del prototipo. En una de las imágenes, se muestra el análisis de un conjunto de datos EEG realizado con EEGLAB en MATLAB. Este análisis se centró en estudiar el comportamiento de las ondas EEG de una persona sana, evaluando la actividad cerebral en diferentes bandas de frecuencia, y proporcionando información sobre cómo estas se distribuyen espacialmente en la cabeza. Específicamente, se analizó la potencia de las ondas theta, alfa y beta en el cerebro, lo que permite una mejor comprensión de la actividad cerebral normal.

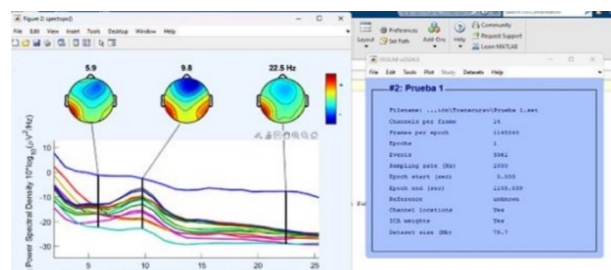


Figura 1. Prueba piloto que muestra comportamiento de ondas EEG

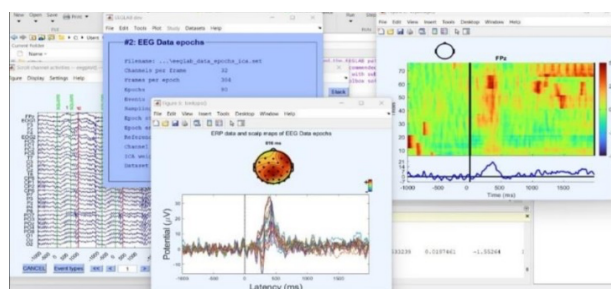


Figura 2. Prueba piloto que muestra comportamiento de ondas EEG en un paciente

Pruebas

Caso 1: Niño triste en Navidad

Al presentar al paciente I un estímulo visual con carga emocional negativa (imagen de un niño triste en Navidad), se observó una activación diferencial en las regiones cerebrales. Se registró un incremento significativo en la actividad de los lóbulos temporales y occipitales, lo cual sugiere un procesamiento visual intensivo y la evocación de representaciones mentales asociadas con experiencias emocionales negativas. Por otro lado, se detectó una menor activación en el lóbulo frontal, lo que podría indicar que procesos cognitivos complejos, como el control emocional y la atención, se vieron afectados, reduciendo el autocontrol mental del paciente.

La Figura 3 corresponde a una de las ejecuciones de los plots, una herramienta clave en EEGLAB. En ella, se muestra una representación 3D del cerebro generada en MATLAB, donde se detallan los patrones neuronales y la ubicación de los electrodos utilizados en la simulación. Se puede observar la posición precisa de cada uno de los sensores en el cerebro.

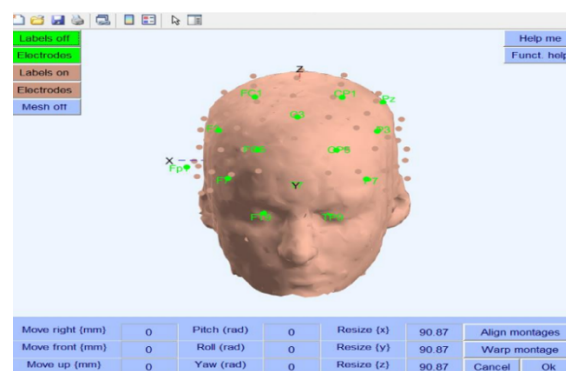


Figura 3. Posiciones de los electrodos en el cuero cabelludo en paciente 1

A continuación, se realizó un análisis espectral para cada evento. En la Figura 4 se presenta un mapa topográfico en 2D de los componentes independientes (IC), que nos permite observar las áreas del cerebro con mayor o menor actividad en un momento dado, o en respuesta a un estímulo. El mapa de calor de los canales muestra la intensidad de la actividad eléctrica registrada por los electrodos EEG configurados previamente. Los colores en el mapa indican distintos niveles de actividad eléctrica, donde colores más cálidos (rojo, naranja) reflejan mayor actividad, y los colores fríos (azul, verde) indican menor actividad. Estos mapas son fundamentales para comparar la actividad entre diferentes condiciones experimentales, grupos de sujetos, o para observar cómo varía la actividad cerebral a lo largo del tiempo.

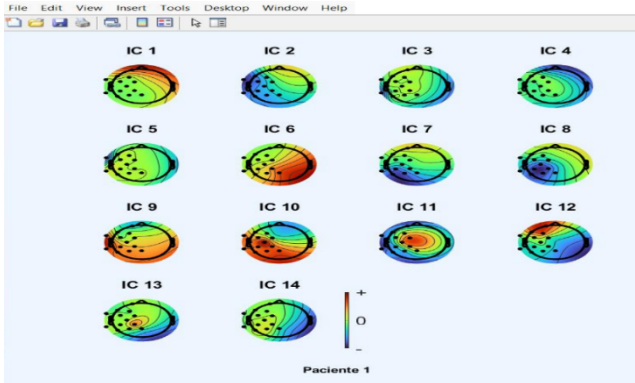


Figura 4. Mapa topográfico del paciente 1

Finalmente, la Figura 5 muestra una visión en tiempo real de la actividad eléctrica del cerebro capturada por los electrodos colocados en el cuero cabelludo. Las ondas EEG, representadas como picos y valles con diferentes frecuencias (Hz), varían en amplitud, frecuencia y patrón según el estado cerebral que se está estimulando. Al analizar la gráfica, es posible identificar el estado del paciente y comparar las ondas entre los diferentes canales, lo que permite localizar las áreas de mayor o menor actividad cerebral. También se pueden identificar anomalías o patrones específicos que podrían estar asociados con trastornos neurológicos o con respuestas a estímulos particulares.

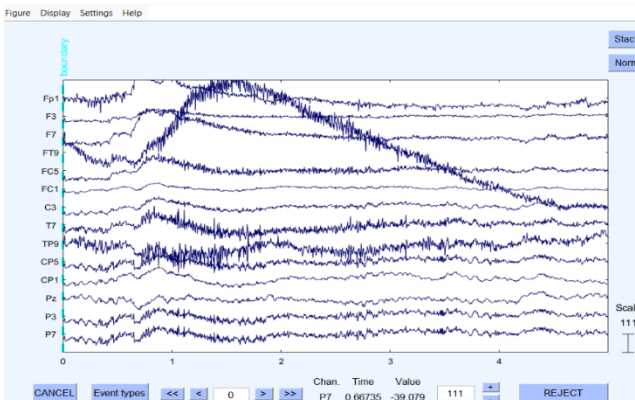


Figura 5. Representación gráfica de frecuencias del paciente 1

Caso 2: Imagen maltrato infantil

La presentación de un estímulo visual altamente aversivo (imagen de maltrato infantil) indujo en el paciente 2 una activación neu-

ronal generalizada. Se observó un incremento significativo en la actividad de los lóbulos temporales, frontales, occipitales y parietales, lo cual sugiere un procesamiento emocional complejo en respuesta a la imagen. La activación de los lóbulos temporales y frontales podría estar relacionada con redes neurales asociadas con la empatía, la toma de decisiones y la memoria autobiográfica, indicando que el paciente experimentó una respuesta emocional negativa vinculada a un evento de su pasado. Por otro lado, la activación de los lóbulos occipital y parietal sugiere un procesamiento visual intensivo y una reconstrucción mental vívida de la escena de maltrato infantil.

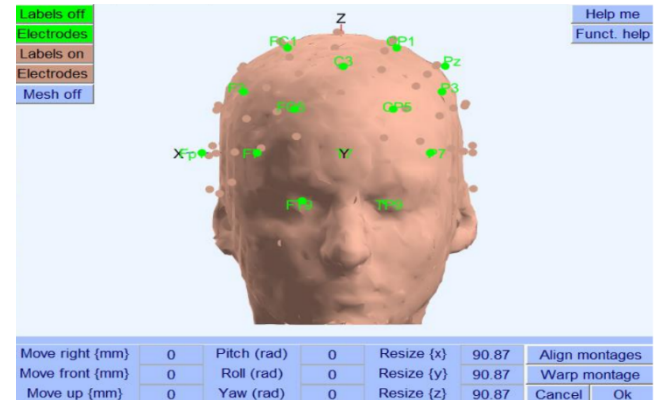


Figura 6. Posiciones de los electrodos en el cuero cabelludo en paciente 2

Al igual que en el caso del paciente 1, la Figura 6 corresponde a una de las ejecuciones de los **plots** en **EEGLAB**. Esta visualización personalizada permite identificar la ubicación exacta de cada electrodo en el cuero cabelludo, lo que facilita la interpretación de los patrones neuronales. La caracterización detallada de estos patrones proporciona información valiosa sobre la actividad cerebral durante la ejecución de las tareas experimentales.

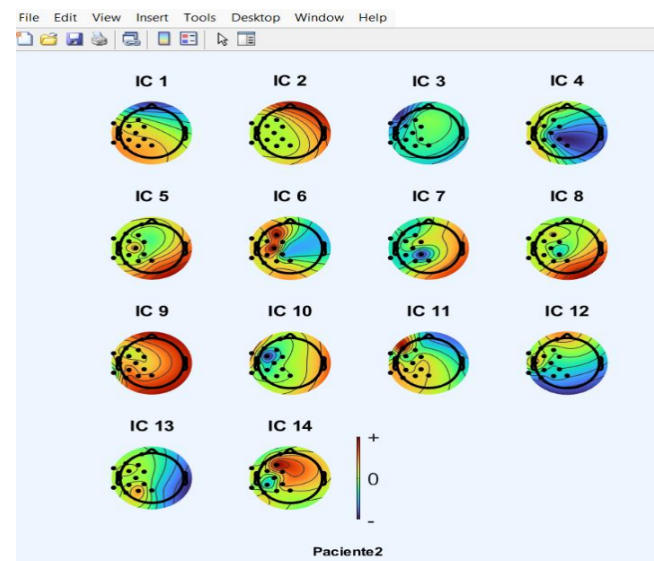


Figura 7. Mapa topográfico del paciente 2

Se replicó el estudio en el paciente 2, utilizando un mapa topográfico 2D de los **componentes independientes** (IC) para visualizar la actividad cerebral. Este mapa de calor, que represen-

ta la intensidad de la señal EEG en cada electrodo, permitió identificar las áreas cerebrales más activas en respuesta al estímulo. Los colores cálidos y fríos destacaron las regiones cerebrales que se activaron o inhibieron en mayor medida, lo que subraya la importancia de realizar un análisis individualizado de la respuesta cerebral ante cada estímulo.

La Imagen 8 muestra la variabilidad de las ondas cerebrales en términos de amplitud, frecuencia y patrones de activación, con cada onda asociada a un electrodo específico que refleja la actividad eléctrica de una región particular del cerebro. Al analizar estas ondas, podemos identificar diferentes estados cerebrales, como la relajación o la concentración, y detectar posibles anomalías relacionadas con trastornos neurológicos. La comparación de las ondas entre distintos canales también permite localizar las áreas cerebrales más activas en respuesta a estímulos específicos.

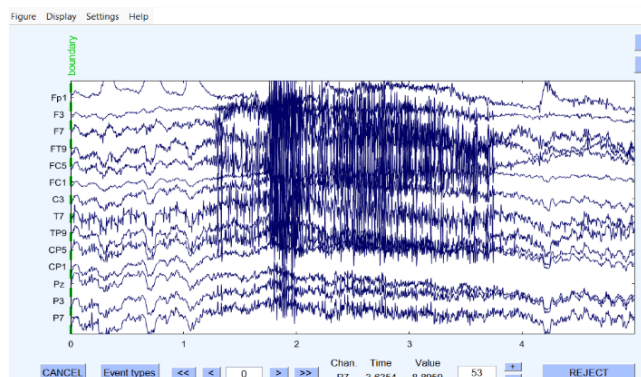


Figura 8. Representación gráfica de frecuencias del paciente 2

Conclusiones

El prototipo experimental de la interfaz cerebro-computadora (BCI) desarrollado para la monitorización en tiempo real de patrones cerebrales en pacientes en rehabilitación de adicciones ha demostrado ser una herramienta innovadora con un alto potencial en la personalización de terapias. La capacidad del BCI para capturar y analizar en tiempo real los patrones de actividad cerebral relacionados con los impulsos adictivos permite ajustes terapéuticos inmediatos, lo que mejora significativamente la precisión y efectividad del tratamiento.

Desde un punto de vista técnico, el sistema ha integrado de manera efectiva sensores avanzados de EEG con algoritmos de procesamiento de señales para detectar variaciones en la actividad cerebral. Esta integración ha permitido generar datos precisos que proporcionan información objetiva sobre los estados neurológicos del paciente, superando las limitaciones de las evaluaciones subjetivas tradicionales. Además, el enfoque de personalización de las intervenciones basado en estos datos ha mostrado ser más eficiente que los métodos convencionales, abordando de manera más específica los desencadenantes individuales de la adicción.

Por otro lado, la capacidad del BCI para adaptarse a diferentes entornos clínicos y su integración con plataformas de gestión de datos en tiempo real abre nuevas posibilidades para su imple-

mentación en la práctica clínica cotidiana. La colaboración entre expertos en ingeniería, neurociencia y salud ha sido fundamental para garantizar la funcionalidad y aplicabilidad del prototipo, estableciendo un modelo de trabajo multidisciplinario que puede extenderse a futuras investigaciones y aplicaciones en otras áreas de la salud mental y la neurorrehabilitación.

Agradecimientos

Un agradecimiento público a todo el personal tanto administrativo como de servicio del CETAD Los Libertadores – Guayaquil. Además, el grupo de investigación desea expresar un agradecimiento especial al Dr. Luis Guerrero Hidalgo por toda su colaboración y apertura.

Divulgación de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses en relación con este artículo.

Limitaciones

El estudio presenta limitaciones importantes. En primer lugar, el tamaño de la muestra es extremadamente reducido, lo que limita la generalización de los resultados. Además, carece de análisis estadísticos que respalden las conclusiones obtenidas; por consiguiente, el estudio puede ser considerado como no vinculante debido a su muestreo. Los problemas de compatibilidad de software señalados pueden ser resueltos en futuras investigaciones principalmente para garantizar la fiabilidad de los datos. Por otro lado, para llevar a cabo esta investigación el equipo realizó debidamente los procedimientos relacionados con el consentimiento informado de los pacientes y consideraciones éticas y legales (por ejemplo: anonimato, deidentificación, recolección mínima de datos, supervisión de personal médico del CETAD, apego a la Ley de Privacidad en Ecuador).

Referencias Bibliográficas

- Bear, M., Connors, B., & Paradiso, M. (2020). Exploring the Brain, Enhanced Edition. Neuroscience.
- EMOTIV. (2024). EMOTIV EPOC: 10 años de investigación revisada por pares. Obtenido de <https://www.emotiv.com/blogs/news/10-years-emotiv-epocresearch>
- Koob, G., & D Volkow, N. (2016). Neurobiology of addiction: a neurocircuitry analysis. National Library of Medicine.
- Monge Lay, S., & Aracena Pizarro, D. (2015). Control de movimiento robótico con detección cognitiva y facial mediante Emotiv EEG. Arica: Rev. chil. ing. vol.23 no.4.
- Plan V. (2021). Ecuador a palos de ciego: 7 años sin un estudio sobre consumo de drogas. Ecuador.
- Salinas F, David. (2015). El Proyecto BRAIN: ¿Sólo se estudia en computadoras?. Revista médica de Chile, 143(8), 1087-1088. <https://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872015000800020>
- UNODC. (2023). El Informe Mundial sobre las Drogas 2023 de UNODC advierte sobre crisis convergentes a medida que los mercados de drogas ilícitas siguen expandiéndose. Mexico.