

Propuesta de diseño en MATLAB de una Interfaz Cerebro-Computadora personalizable basada en tareas cognitivas

Una BCI es un dispositivo que permite una interacción directa entre el cerebro del usuario y su entorno mediante la captura de señales cerebrales asociadas a procesos mentales (Moreno et al., 2019), ofreciendo una vía de comunicación a personas con discapacidades motoras. Aquellas basadas en imaginación funcionan a partir de la ejecución de tareas cognitivas por parte del usuario, generando patrones específicos de actividad cerebral que pueden emplearse como señales de control (Tarara et al., 2025).

Este trabajo propone un sistema basado en tareas cognitivas, personalizable y asequible, que permita el control de un dispositivo externo e inalámbrico. Además, se busca que opere con un número reducido de electrodos e incluya una interfaz gráfica de usuario. El sistema integra la adquisición de la señal, pre-procesamiento, extracción y selección de características, clasificación y validación *online*.

El diseño de una BCI personalizable debería permitir la adaptación de parámetros como la tarea mental, el esquema de adquisición de señales y su procesamiento; este último abarcando la selección de canales, la extracción y selección de características, y la elección del modelo de clasificación de Machine Learning. Este enfoque representa una vía fundamental para que las BCI evolucionen hacia aplicaciones prácticas, al ajustarse a las características de los usuarios, responder a sus necesidades particulares y mejorar su experiencia de uso (Ma et al., 2022). La personalización se realiza mediante la elección de las tareas mentales, los canales, las bandas de frecuencia para la extracción de la potencia y el kernel de Máquina de Soporte Vectorial más adecuados.

Se utilizó la tarjeta Cyton Biosensing Board de OpenBCI para la adquisición de la señal, así como el software MATLAB. El control al dispositivo externo se implementó mediante un Arduino Uno R4 WiFi. En la Figura 1 se ilustra el funcionamiento general del sistema, mientras que la Figura 2 muestra las interfaces gráficas de usuario diseñadas. Los códigos generados fueron publicados en un repositorio GitHub público.

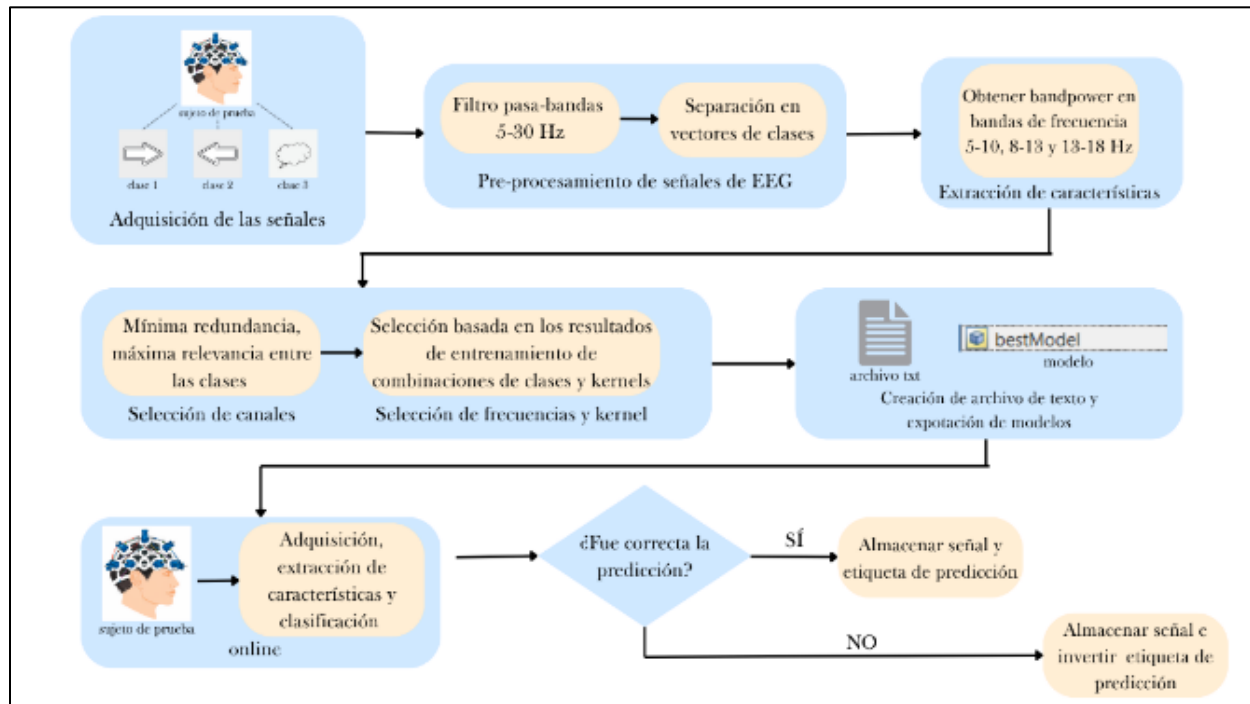


Figura 1. Diagrama de flujo del sistema.



Figura 2: (a) Interfaz 1: Adquisición de las señales de EEG, (b) Interfaz 2: pre-procesamiento de la señal, extracción de características, selección de canales, frecuencias y kernel, exportación de modelos y pruebas on-line.

Para la validación preliminar del sistema, participaron 6 usuarios que realizaron todo el procedimiento experimental, siendo esta la primera vez que interactuaron con esta tecnología. El arreglo experimental se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Arreglo experimental del sistema.

El registro de la actividad cerebral se llevó a cabo en un espacio con ruido ambiental reducido, mientras el sujeto permanecía sentado frente a un monitor. Se consideraron tres clases y se registraron 10 estímulos por clase, cada uno con una duración de 8 segundos. Estos se presentaron en el monitor de manera aleatoria con una de las tres imágenes correspondientes a la Clase 1, Clase 2 o Clase 3, indicando al usuario el momento en que debe ejecutar la tarea mental seleccionada. Las tareas recomendadas consisten, respectivamente, en imaginar el movimiento de la mano derecha, imaginar el movimiento de la mano izquierda y realizar una tarea de imaginación alternativa como recordar una canción o contar del 1 al 8 durante la duración del estímulo; para cada participante se realizaron dos sesiones.

Los resultados mostraron que la combinación de parámetros varió entre los usuarios, demostrando la capacidad e importancia de la personalización del sistema. La Tabla 1 presenta los resultados registrados para tres usuarios tras el uso de la BCI.

Tabla 1. Resultados registrados

Usuario	Clases utilizadas	Canales y frecuencias usadas	Kernel de SVM usado	Exactitud en validación del entrenamiento	Exactitud con 20 repeticiones (<i>online</i>)
Usuario e	1 y 3	FP2: 5 a 10 Hz P8: 13 a 18 Hz O1: 8 a 13 Hz	Cubic SVM	60%	45%
Usuario m	1 y 2	FP1: 5 a 10 Hz O2: 13 a 18 Hz P8: 8 a 13 Hz	Linear SVM	62.5%	60%
Usuario c	1 y 3	P7: 8 a 13 Hz P8: 8 a 13 Hz FP2: 5 a 10 Hz	Linear SVM	70%	55%

Los resultados mostraron que la combinación de parámetros necesarios para la obtención de características y clasificación de las señales de EEG varió entre los usuarios, demostrando la capacidad e importancia de la personalización del sistema. La exactitud más alta registrada para la etapa de entrenamiento corresponde a un 70%, sin embargo, en la prueba *online*, esta disminuyó a 55%. Este patrón se observa en todos los usuarios, indicando una reducción en el rendimiento del sistema al trabajar con datos en tiempo real.

Aunque los resultados no permiten confirmar la confiabilidad del sistema para discriminar entre clases en tiempo real, el diseño del sistema y su capacidad para brindar validaciones mayores al 50% en las pruebas *offline* sí sustentan la viabilidad de integración de las diferentes etapas del diseño en una misma BCI personalizable al usuario. El empleo de materiales asequibles resulta en un diseño accesible para grupos de investigación interesados en el desarrollo y evaluación de BCIs, constituyendo una base relevante para nuevas implementaciones.

Para trabajos futuros, sería conveniente explorar el uso de múltiples métodos de extracción de características con el fin de mejorar la capacidad de adaptación del sistema tanto al usuario como a cada sesión de adquisición de señales EEG, lo cual podría incrementar su rendimiento.

Referencias

- Chaddad, A., Wu, Y., Kateb, R., & Bouridane, A. (2023). Electroencephalography Signal Processing: A Comprehensive Review and Analysis of Methods and Techniques. *Sensors*, 23(14), 6434. <https://doi.org/10.3390/s23146434>
- Ma, Y., Gong, A., Nan, W., Ding, P., Wang, F., & Fu, Y. (2022). Personalized Brain-Computer Interface and Its Applications. *Journal of Personalized Medicine*, 13(1), 46. <https://doi.org/10.3390/jpm13010046>
- Merrill, N., Curran, M. T., Gandhi, S., & Chuang, J. (2019). One-Step, Three-Factor Passthrough Authentication With Custom-Fit, In-Ear EEG. *Frontiers in Neuroscience*, 13, 354. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00354>
- Moreno, I., Batista, E., Serracin, S., Moreno, R., Gómez, L., Serracin, J., Quintero, J., & Boya, C. (2019). Los sistemas de interfaz cerebro-computadora basado en EEG: Características y aplicaciones. *I+D Tecnológico*, 15(2), 13-26. <https://doi.org/10.33412/idt.v15.2.2230>
- Taktak, A. F. G., Ganney, P., Long, D., & Axell, R. G. (Eds.). (2020). *Clinical engineering: A handbook for clinical and biomedical engineers* (Second edition). Academic Press, an imprint of Elsevier.
- Tarara, P., Przybył, I., Schöning, J., & Gunia, A. (2025). Motor imagery-based brain-computer interfaces: An exploration of multiclass motor imagery-based control for Emotiv EPOC X. *Frontiers in Neuroinformatics*, 19, 1625279. <https://doi.org/10.3389/fninf.2025.1625279>

Sobre las autoras

Karla González Cabrales

Estudiante de décimo semestre de Ingeniería Biomédica y se encuentra próxima a egresar en primavera de 2026. Desde 2023 desarrolla este proyecto bajo la asesoría de la Dra. Rocío Salazar Varas, académica de la Universidad de las Américas Puebla. Sus áreas de interés incluyen el análisis de señales fisiológicas, la instrumentación biomédica y la investigación clínica.

Contacto: karla.gonzalezcs@udlap.mx

Dra. Rocío Salazar Varas

Profesora e investigadora de la Universidad de las Américas Puebla. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I. Su área de interés se centra en el procesamiento y análisis de señales biomédicas.

Contacto: rocio.salazarv@udlap.mx