

Manipulación de un robot omnidireccional con los gestos faciales

Manipulation of an omnidirectional robot with facial gestures

Jorge Gudiño-Lau^a, Ximena Gonzalez Reyes^b, Gabriela Lopez-Torres^c, Saida Charre-Ibarra^d,
Janeth Alcalá-Rodríguez, Miguel Durán-Fonseca^f

Abstract:

This article describes the state of the art, showing the advances in research on different wireless electroencephalogram (EEG). It also shows a prototype software that interprets the brain signals that come from the Emotiv EPOC headband, this process is called Brain Computer Interface (BCI) that solves the problem of identifying EEG signals. The software, designed in Matlab, interprets brain signals, which can be saved or manipulated in real time to move an omnidirectional robot with facial gestures. The software converts brain signals to voltage to manipulate external manipulator devices. Currently this work is in the experimental testing phase in humans and the non-invasive signal acquisition method is used; It is expected to extend this work to support people who have permanent or temporary paralysis in the lower limbs, which also cause other types of psychological problems such as depression due to the use of a wheelchair and the impact generated by not being able to move. autonomously from one place to another without the help of a third person.

Keywords:

EEG, omnidirectional robot, facial gestures, manipulator robot.

Resumen:

Este artículo describe el estado del arte donde se muestra los avances de las investigaciones de los distintos dispositivos inalámbricos de emisión de electroencefalograma (EEG). También muestra un software prototipo que interpreta las señales cerebrales que provienen de la diadema Emotiv EPOC, este proceso es llamado Interface Cerebro Computadora (ICC) o BCI (por sus siglas en inglés Brain Computer Interface) que resuelve el problema de identificación de señales EEG. El software, diseñado en Matlab, interpreta las señales cerebrales, las cuales se pueden guardar o manipular en tiempo real para mover un robot omnidireccional con los gestos faciales. El software convierte las señales cerebrales a voltaje para manipular dispositivos manipuladores externos. Actualmente este trabajo está en la fase de pruebas experimentales en seres humanos y se emplea el método de adquisición de la señal no invasivo; se espera extender este trabajo para apoyar a personas que tienen parálisis permanente o temporal en los miembros inferiores, que, además, acarrea otro tipo de problemas psicológicos como la depresión por el uso de la silla de ruedas y el impacto que genera el no poder movilizarse de manera autónoma de un lugar a otro sin ayuda de un tercero.

Palabras Clave:

EEG, robot omnidireccional, gestos faciales, manipulación de robot.

^a Autor de Correspondencia, Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería Electromecánica, <https://orcid.org/0000-0002-0585-908X>, Email: jglau@uacol.mx

^b Universidad Autónoma del Estado de México, <https://orcid.org/0009-0001-3003-0126>, Email: xgonzalezr400@alumno.uaemex.com

^c Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, <https://orcid.org/0009-0001-2633-3407>, Email: al203627@alumnos.uaej.mx

^d Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería y Electromecánica, <https://orcid.org/0000-0002-3823-5388>, Email: scharre@uacol.mx

^e Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería y Electromecánica, <https://orcid.org/0000-0002-0238-3952>, Email: janethalcala@uacol.mx

^f Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería y Electromecánica, <https://orcid.org/0000-0002-0780-6192>, Email: mduran@uacol.mx

Introducción

Los campos más estudiados por los investigadores recientemente son el área de la robótica y la medicina; y los principales estudios están enfocados al comportamiento del cerebro humano. Las Interfaces Cerebro-Computadora (ICC), también conocidas como Brain-Computer Interfaces (BCI) en inglés, son sistemas que permiten la comunicación y la interacción directa entre el cerebro humano y dispositivos externos. Las ICC permiten que las señales eléctricas generadas por el cerebro sean traducidas en comandos que pueden controlar dispositivos o aplicaciones, en este artículo se emplea la diadema Emotiv EPOC+ como una ICC. En este trabajo se presenta el desarrollo de un prototipo de una interfaz humano-computadora controlada a través de gestos faciales utilizando la diadema Emotiv EPOC+.

En Chávez-Saenz, et. al. [1], se presentan un estudio de las señales electroencefalográficas (EEG) generadas cuando una persona realiza una expresión facial como: levantamiento de cejas, pestañeo, movimiento de los labios cerrados hacia la derecha o hacia la izquierda. La adquisición de la señal se realiza en tiempo real utilizando el dispositivo Emotiv EPOC+ recolectando lecturas de una muestra que considera hombres y mujeres de distintas edades. Además, muestran los electroencefalogramas obtenidos donde es posible observar el cambio de características de amplitud en las señales dependiendo de la expresión facial realizada por el sujeto a prueba. Se detalla la selección de la señal con mayor actividad y el resultado obtenido en términos de amplitud para determinar diferencias cuantitativas entre la actividad de las señales para cada una de las expresiones. En la Figura 1 se muestran las señales de la diadema al gesto del parpadeo.



Figura 1. Electrocerefalograma con movimiento de parpadeo[1].

En Hornero, et. al. muestran el diseño, implementación y evaluación, tanto a nivel de hardware como a nivel de software, de una interfaz gestual de bajo costo y consumo, que puede ser utilizada desde diferentes partes del cuerpo y que permite el acceso a cualquier plataforma digital, en la Figura 2 muestra el software de control del robot Lego. Las pruebas experimentales realizadas con el sistema,

tanto sobre software comercial, como con plataformas educativas y de ocio, como un telescopio y un robot Lego Mindstorm, han demostrado la posibilidad de obtener de forma cómoda hasta 6 elementos de control diferentes, y la posibilidad de realizar un control cooperativo que mejora el proceso de aprendizaje y la integración social de los usuarios [2].

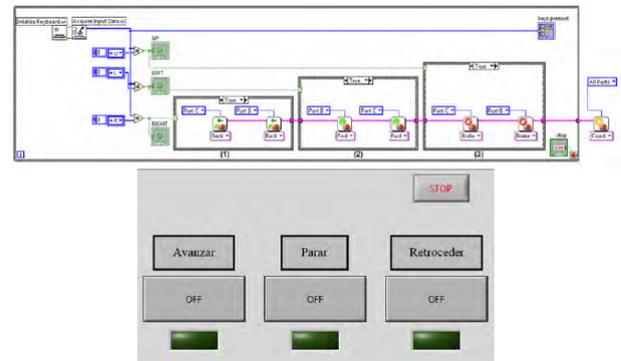


Figura 2. Software para controlar el robot Lego [2].

En la Figura 3 muestra que las BCI son especialmente relevantes para pacientes que sufren de trastornos de movimiento: parálisis grave, esclerosis lateral amiotrófica, o síndrome de locked-in, donde hay poca o ninguna capacidad de control de movimiento residual. Sin embargo, aún con esta tecnología en desarrollo, en México, muchos sitios de atención médica para este tipo de padecimientos no cuentan con un sistema BCI que, si bien no es necesario en determinadas ocasiones, resulta ser útil cuando el paciente tiene dificultades para expresarse o realizar alguna acción consecuencia de su padecimiento [3].

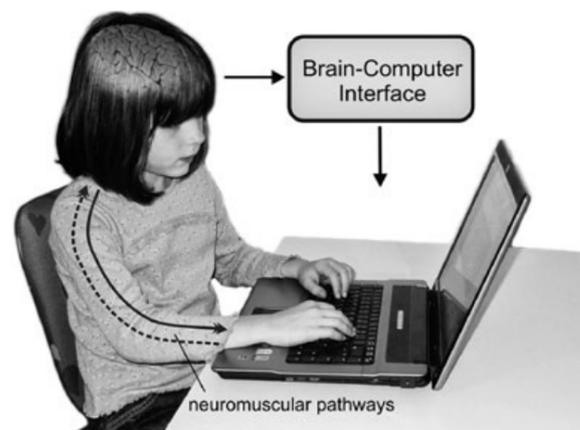


Figura 3. Una Interfaz Cerebro Computadora [3].

En Freire, et. al. realizan un proyecto en donde se describe el diseño de un sistema para controlar una silla de ruedas, mediante las señales eléctricas cerebrales de un paciente con paraplejía utilizando una interfaz cerebro-computadora que interpretara las señales cerebrales al

momento de realizar diferentes gestos faciales. Para la detección de las señales cerebrales relacionadas con la atención y el parpadeo ocular, utilizaron un casco Neurosky que se conectaba mediante bluetooth a una aplicación en un dispositivo Android. Por otro lado, el sistema de control se implementó utilizando un microcontrolador Arduino, el cual se encargaba de gestionar los movimientos de la silla [4]. En la Figura 4 se muestra el programa empleado para la manipulación de la silla de ruedas.



Figura 4. Software Labview para la manipulación de la silla [4].

En 2021 realizan un sistema de control y supervisión para el Robot Scorbot a través de señales electroencefalográficas (EEG). El sistema tiene la capacidad de dirigir las articulaciones del Robot Scorbot mediante señales eléctricas generadas por la actividad cerebral. Para lograr esto, se emplea los dispositivos Neurosky y Emotiv Insight, que capturan los impulsos de los electrodos y los transformaban en señales procesadas a través del software matemático Matlab. En la fase de control y supervisión, se diseñó una interfaz gráfica que permite al usuario entrenar y adaptar el sistema según sus limitaciones físicas, cognitivas e intelectuales. De esta manera, brinda la posibilidad de ajustar el funcionamiento del sistema de acuerdo con las necesidades individuales del usuario[5]. En la Figura 5 muestra la interfaz de comunicación usuario-máquina y la diadema.



Figura 5. Interfaz BCI para la manipulación del robot [5].

En el 2022 [6] muestra el control de silla de ruedas BCI utilizando un sistema experto que clasifica las señales de EEG según la estimación del espectro de potencia y la detección de tics nerviosos. Emplea un enfoque de diseño de BCI (Interfaz Cerebro-Computadora) que incorporaba inteligencia artificial para llevar a cabo un análisis avanzado de señales que contenían expresiones faciales, utilizándolas como comandos de control. Estas señales presentaban diversos artefactos causados por tics nerviosos simulados, como se muestra en la Figura 6. El sistema experto propuesto consiste en dos redes neuronales. La primera red permite el análisis de muestras de un segundo de señales EEG provenientes de electrodos específicos, basándose en estimaciones de espectro de potencia de las formas de onda. Esto posibilita la generación de una señal de control adecuada en respuesta a los comandos de expresión facial correspondientes. Por su parte, la segunda red neuronal detectaba la aparición y el tipo de tics nerviosos presentes en la señal.

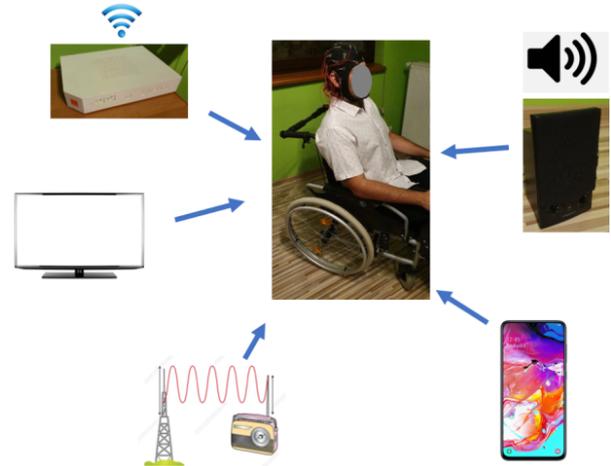


Figura 6. Sistema completo con componentes [6].

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud entre 250 000 y 500 000 personas sufren cada año en todo el mundo lesiones medulares. Estas lesiones pueden obligar a una persona a depender de sus cuidadores desde sus actividades en la vida cotidiana hasta en sus necesidades básicas. Sin embargo, con el uso de diversas tecnologías asistenciales se puede lograr facilitar la movilidad, la comunicación, la auto asistencia o las actividades

requerir una cirugía mínimamente invasiva para colocar los electrodos directamente en el tejido cerebral. Este tipo de EEG se utiliza en situaciones muy específicas, como la evaluación de la actividad cerebral en pacientes con epilepsia grave o en cirugías cerebrales, ver Figura 10.

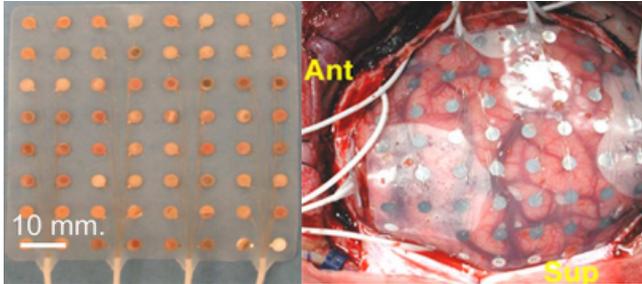


Figura 10. EEG Invasivo [10].

EEG Parcialmente Invasivo: Los electrodos se colocan en la superficie del cuero cabelludo, pero pueden involucrar algún grado de invasión o penetración parcial en el tejido. Por lo general, se utilizan electrodos subdurales o epidurales, que se sitúan entre el cráneo y la duramadre (la membrana que recubre el cerebro). Esto se hace en situaciones donde se necesita una mayor resolución espacial que la que ofrece un EEG no invasivo, pero no es necesario un procedimiento completamente invasivo. En la Figura 11, es un ejemplo de un implante mínimamente invasivo que integra electrodos, amplificación, procesamiento, potencia y telemetría para conectar y controlar de forma inalámbrica un sistema informático externo. En pacientes discapacitados, esto podría tener múltiples sistemas efectores de salida que van desde la comunicación y el control ambiental hasta el control de varias prótesis robóticas[10].

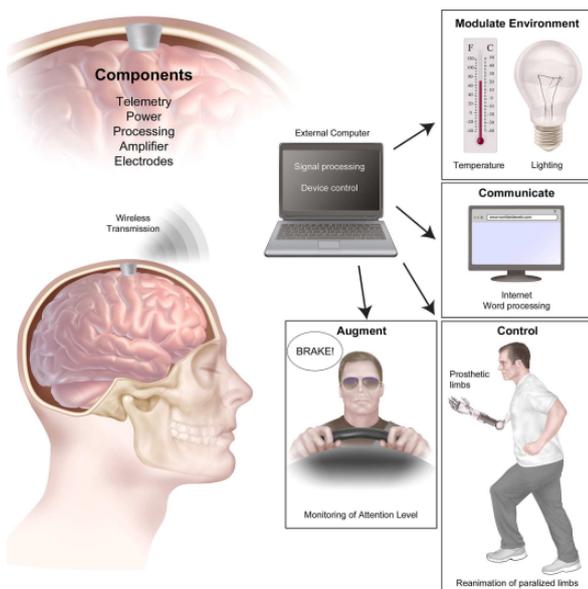


Figura 11. EEG Parcialmente Invasivo [10].

EEG No Invasivo: Esta es la forma más común de obtener un EEG. En este caso, se colocan electrodos en la

superficie del cuero cabelludo sin ningún tipo de invasión, como se observa en la Figura 12. Los electrodos están conectados a un dispositivo de registro que registra la actividad eléctrica del cerebro. A pesar de su menor resolución espacial en comparación con los métodos invasivos o parcialmente invasivos, los EEG no invasivos son seguros, cómodos y ampliamente utilizados para una variedad de propósitos, como la investigación clínica, el diagnóstico de trastornos cerebrales y la monitorización de pacientes en estado de coma o durante crisis epilépticas [10].



Figura 12. EEG No Invasivo.

Interfaz Aumentada Cerebro Computadora

Dada la creciente investigación y desarrollo de nuevas técnicas para la implementación de ICC, han surgido nuevas aplicaciones que acoplan este tipo de interfaces en la vida diaria mediante dispositivos de Interfaz Aumentada Cerebro Computadora (ABCI por sus siglas en inglés Augmented Brain Computer Interfaces).

Un ABCI es similar a una ICC, ya que se basan en biosensores, los cuales graban señales desde el cerebro en entornos cotidianos y éstas se procesan en tiempo real para monitorear el comportamiento del ser humano.

Para utilizar una ABCI como una técnica de imagen cerebral móvil para todos los días, en aplicaciones de la vida real, los sensores y dispositivos correspondientes deben ser de peso ligero y el tiempo de respuesta de los equipos debe ser corto, en la Figura 13 se observan diferentes dispositivos EEG más comerciales [11], [12],[13],[14]



Figura 13. Dispositivos de EEG Móviles más usados.

Sistema Internacional 10-20

Una BCI analiza el comportamiento de patrones que se originan en áreas específicas del cerebro, y para obtener registros consistentes de ciertas regiones específicas de la cabeza, los científicos se basan en un sistema estándar para la colocación exacta de electrodos llamado Sistema Internacional 10-20. El sistema internacional 10-20 es ampliamente utilizado en aplicaciones médicas y en la investigación referente a Interfaces Cerebro-Computadora.

El nombre de 10-20 indica que los electrodos más frecuentemente utilizados están colocados 10, 20, 20, 20, 20, y 10% del total de la distancia de Nasión-Inión como se muestra Figura 14, los otros electrodos se colocan a distancias similares fraccionadas[15].

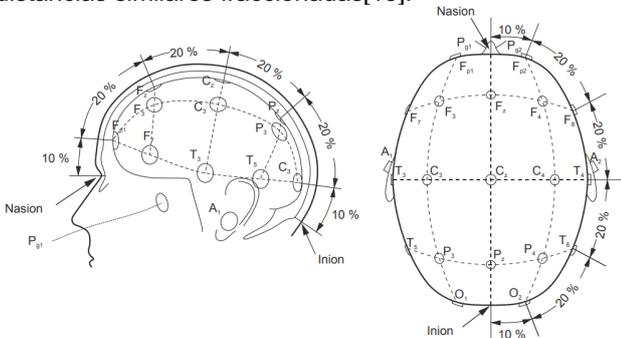


Figure 14. Sistema Internacional 10-20.

Equipo experimental

En esta sección se muestra el equipo experimental empleado para realizar las pruebas experimentales del robot omnidireccional y la diadema Emovit EPOC+.

Diadema Emotiv EPOC+

El EEG móvil de 14 canales EMOTIV EPOC+ está diseñado para la investigación escalable y contextual del cerebro humano y aplicaciones avanzadas de interfaz cerebro-computadora y brinda acceso a datos cerebrales de nivel profesional. Los 14 canales con los que cuenta son: AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4, como se muestra en la Figura 15, tiene 2 referencias: referencias CMS/DRL en P3/P4; alternativa del proceso mastoideo izquierdo/derecho.

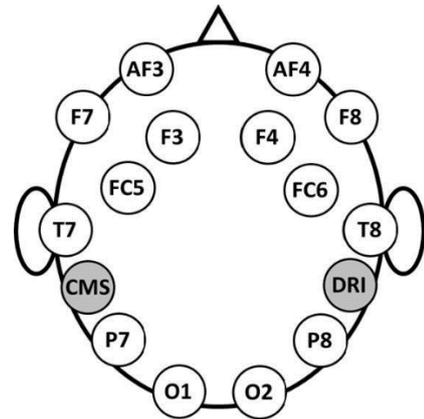


Figura 15. Canales y su distribución [12].

Se conecta de manera inalámbrica vía bluetooth de bajo consumo, el ancho de banda: 0,16 – 43 Hz, filtros notch digitales a 50 Hz y 60 Hz, contiene un filtro Sinc digital integrado de quinto orden. La duración de la batería: hasta 12 horas con receptor USB, hasta 6 horas con Bluetooth Low Energy. Las expresiones faciales capaces de detectar son: parpadeo, guiño derecho e izquierdo, sorpresa, ceño fruncido, sonrisa, apretar la mandíbula, risa. Tiene un peso de 170g y sus dimensiones son: 9x15x15cm. La diadema es mostrada en la Figura 16.



Figura 16. Diadema Emotiv EPOC+ [12].

Solución cloruro de sodio PISA 0.9%

La solución multipropósito contiene agentes antimicrobianos no alergénicos que ayudan a mantener los sensores de la diadema frescos y evitan la transferencia de microbios entre usuarios, ver Figura 17. Cada 100 ml de solución contienen:

- Cloruro de sodio 0,9 g
- Composición iónica: Ión sodio: 154 mmol/l (154 meq/l), Ión cloruro: 154 mmol/l (154 meq/l)
- Osmolaridad teórica: 308 mosm/l pH de 4,5-7,0.



Figura 17. Solución cloruro de sodio Pisa 0.9%.
Fuente propia.

Robot omnidireccional

Para realizar la prueba experimental se emplea un robot móvil omnidireccional como el que se muestra en la Figura 18, diseñado para moverse en cualquier dirección con la finalidad de probar el seguimiento trayectoria de un usuario, se emplea en un robot móvil omnidireccional educativo ya que son pruebas experimentales.

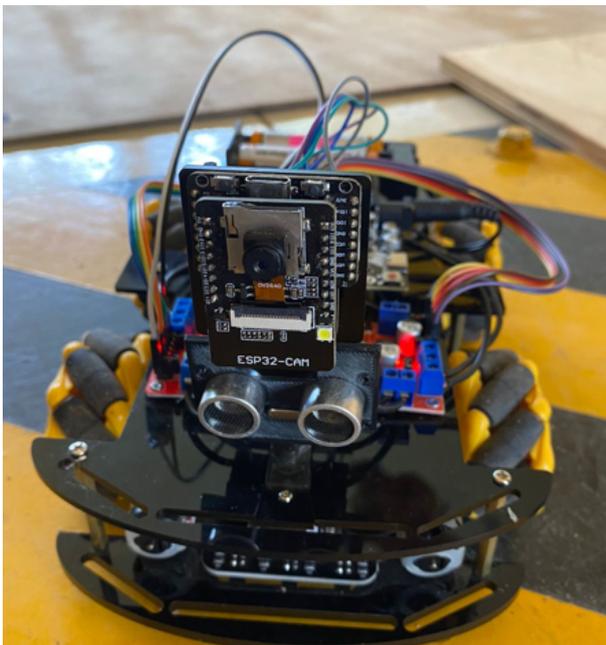


Figura 18. Robot móvil omnidireccional.

EEG MATLAB

EEGLAB es una caja de herramientas Matlab interactiva para procesar EEG, otros datos electrofisiológicos continuos y relacionados con eventos que incorporan análisis de componentes independientes (ICA), análisis de

tiempo/frecuencia, rechazo de artefactos, estadísticas relacionadas con eventos y varios modos útiles de visualización del promedio, esta herramienta se utilizó al momento de visualizar en Matlab la señal con ayuda de LSL (Lab Stream Layer) para ver y manipular las señales obtenidas con la diadema Emotiv en tiempo real[16].

EEGLAB proporciona una interfaz gráfica de usuario (GUI) interactiva que permite a los usuarios procesar de forma flexible e interactiva su EEG de alta densidad y/o análisis de tiempo/frecuencia (TFA), así como promedios estándar métodos, como se observa en la Figura 19. EEGLAB también incorpora extensos tutoriales y ventanas de ayuda, además de una función de historial de comandos que facilita la transición de los usuarios de la exploración de datos basada en GUI a la creación y ejecución de scripts de análisis de datos personalizados o por lotes.

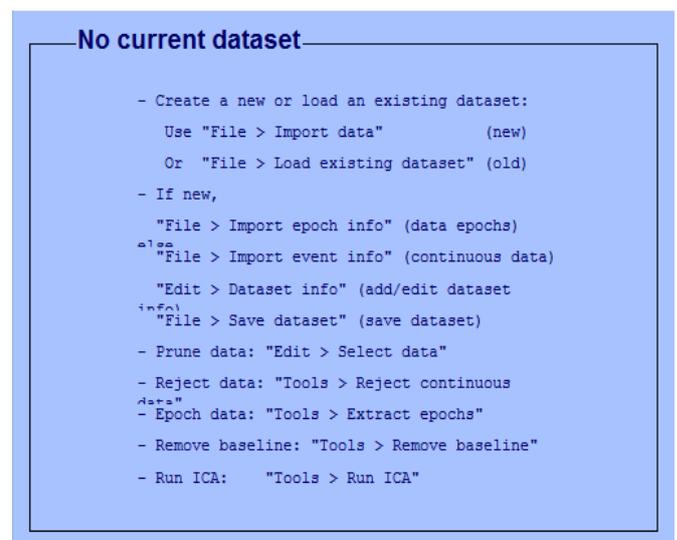


Figura 19. GUI principal de EEGLAB [16].

Adquisición de las señales

En esta sección se muestra el procedimiento para la adquisición de las señales electroencefalográficas y los gestos faciales, en la Figura 20 se describe en orden cronológico los pasos para se deben seguir para obtener una buena señal.

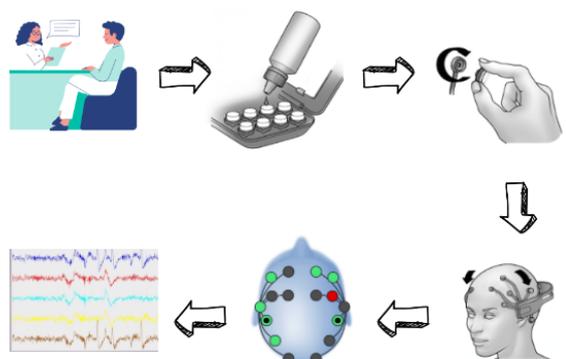


Figura 20. Algoritmo para la obtención de la señal

Resultados

En la Figura 21 se muestra el algoritmo empleado para el control del robot móvil omnidireccional a partir de las señales de los gestos faciales de las personas.



Figura 21. Algoritmo para la manipulación del robot.

En la Figura 22 se observa el área de trabajo del robot, la persona haciendo gestos, el programa para manipular el robot omnidireccional y el mismo móvil, el experimento consiste en mover el robot en su área de trabajo a través de los gestos faciales de cualquier ser humano.

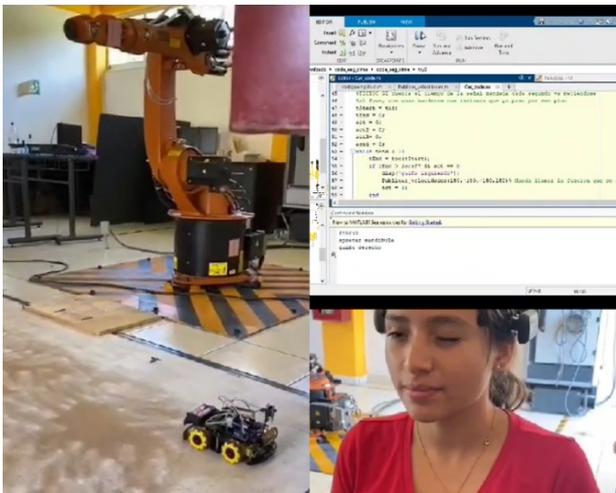


Figura 22. Manipulación del robot por gestos faciales.

Conclusiones

La robótica móvil y los gestos faciales desempeñan un papel cada vez más importante en el campo médico, ya que ofrece numerosas formas de apoyar: asistencia a pacientes que no tienen movilidad.

La tetraplejia y la paraplejia son discapacidades que resultan de las lesiones en la médula espinal y trastornos neuromusculares tales como la parálisis cerebral. Los pacientes que las padecen presentan diferentes niveles de movimientos y actividad motora por lo que la realización de tareas cotidianas, como puede ser el control del entorno doméstico, es en muchas ocasiones todo un reto. Por lo que, esta investigación puede aportar para superar este inconveniente a través de una diadema que permita detectar los gestos faciales.

Los resultados obtenidos son muy buenos, se puede decir que es viable llevar a cabo un proceso de entrenamiento en el reconocimiento de expresiones faciales de cualquier persona. Estas expresiones faciales son detectadas y comprendidas por la aplicación EEGLab, lo que a su vez permite el control de la interfaz gráfica encargada de manipular los movimientos del robot. Es importante destacar que, dado que cada persona es única y presenta expresiones faciales distintas, se debe configurar para cada usuario, debe completar este proceso de entrenamiento antes de utilizar la interfaz del usuario. Este entrenamiento personalizado garantiza una interacción efectiva entre el usuario y el robot.

Se propone como trabajo futuro la optimización del algoritmo de detección de gestos faciales para lograr una implementación con mayor eficiencia, que requiera menor poder computacional y obtenga resultados a mayor velocidad para enviar al controlador y obtener mayor exactitud en el movimiento del robot.

Referencias

- [1] Chávez-Saenz V., Jiménez-González F., Torres-Ramírez D., and Pérez-Klapez Ch., "Estudio de las señales EEG generadas a partir de expresiones faciales," Revista de Investigación y Desarrollo, vol. 2, no. 6, 2016.
- [2] Hornero G., Font E., Tejedó J., and Casas o., "Interfaz gestual para el acceso a plataformas digitales y control de plataformas para el ocio," VI Congreso Internacional de Diseño, Redes de Investigación y Tecnología para todos (DRT4ALL), 2015.
- [3] B. Graimann, B. Allison, and G. Pfurtscheller, "Brain-Computer Interfaces: A Gentle Introduction," 2009, pp. 1-27. doi: 10.1007/978-3-642-02091-9_1.
- [4] Freire Carrera F., Maila Andrango E., Chadrina O., and Drozdov V., "Diseño de sistema para controlar una silla de ruedas mediante señales eléctricas cerebrales," Medisur, 2019.
- [5] Cunalata Velasco W. D., "Sistema de manipulación y monitoreo del robot scorbol mediante señales electroencefalográficas (EEG)," Universidad Técnica de Ambator, Ecuador, 2021.
- [6] D. Pawuś and S. Paszkiel, "BCI Wheelchair Control Using Expert System Classifying EEG Signals Based on Power Spectrum Estimation and Nervous Tics Detection," Applied Sciences, vol. 12, no. 20, p. 10385, Oct. 2022, doi: 10.3390/app122010385.
- [7] Vaca Pérez J. D., "Transporte unipersonal motorizado para personas con Paraplejia," Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador, 2021.
- [8] Investigación Científica, El Cerebro. Barcelona, 1986.
- [9] E. M. Gordon et al., "A somato-cognitive action network alternates with effector regions in motor cortex," Nature, vol. 617, no. 7960, pp. 351-359, May 2023, doi: 10.1038/s41586-023-05964-2.
- [10] Schalk G., "Brain-Computer Interfaces Using Electroencephalographic Signals," Leuthardt E., vol. 4, 2011.
- [11] <http://www.neurosky.com>, "neurosky."

- [12] Emotiv Epoc+, “www.emotiv.com.”
- [13] Lun-De Liao et al., “Biosensor Technologies for Augmented Brain–Computer Interfaces in the Next Decades,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, no. Special Centennial Issue, pp. 1553–1566, May 2012, doi: 10.1109/JPROC.2012.2184829.
- [14] R. A. Ramadan and A. V. Vasilakos, “Brain computer interface: control signals review,” *Neurocomputing*, vol. 223, pp. 26–44, Feb. 2017, doi: 10.1016/j.neucom.2016.10.024.
- [15] L. F. Nicolas-Alonso and J. Gomez-Gil, “Brain Computer Interfaces, a Review,” *Sensors*, vol. 12, no. 2, pp. 1211–1279, Jan. 2012, doi: 10.3390/s120201211.
- [16] Regents of the University of California, “EEGLab,” <https://sccn.ucsd.edu/eeglab/index.php>.