

ROBÓTICA: "INTERFACES CEREBRO-MÁQUINA PARA POTENCIAR HABILIDADES COGNITIVAS"

ROBOTICS: "BRAIN-MACHINE INTERFACES TO ENHANCE COGNITIVE SKILLS"

ROBÓTICA: "INTERFACES CÉREBRO-MÁQUINA PARA MELHORAR AS HABILIDADES COGNITIVAS"

Resumen

Este trabajo analiza la aplicación de las interfaces cerebro-máquina en la robótica para mejorar la cognición humana. Dado que hay poca información sobre cómo evolucionan estas tecnologías en el campo clínico o de rehabilitación, se requiere este estudio para evaluar el impacto de las ICM en la cognición humana mejorada. El trabajo se basa en datos secundarios, a saber, un análisis de múltiples fuentes sobre ICM publicadas en 2015-2021. Por lo tanto, este estudio crítico examina el desarrollo tecnológico de las interfases cerebro-máquina, la neuromodulación no invasiva y los sistemas de interpretación neurológica confiable. Los principales hallazgos y conclusiones surgidos de la revisión crítica consideran el desarrollo de la ICM del ser humano para mejorar el cuidado personal, la memoria y el control muscular en pacientes con parálisis motora central. Aunque este es un nicho prometedor, el estudio debe analizar desafíos técnicos y éticos relacionados con su éxito.

Palabras clave: Aprendizaje automático; estimulación cerebral; neurotecnología; rehabilitación cognitiva; señal neuronal

M.Sc. Rocío Mendoza Villamar

rocio.mendoza@uleam.edu.ec;

roalmevi@yahoo.com

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

Orcid: [0000-0002-1277-7162](https://orcid.org/0000-0002-1277-7162)

Ing. Ángel Villarreal Cobeña

angel.villarreal@uleam.edu.ec

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

Orcid: [0000-0003-0357-0538](https://orcid.org/0000-0003-0357-0538)

Jeniffer Zambrano Barre

jenifferzambrano835@gmail.com

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

Orcid: [0009-0003-5802-3010](https://orcid.org/0009-0003-5802-3010)

Fernanda Basurto Muñoz

fereliz1999@gmail.com

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

Orcid: [0009-0009-3811-0444](https://orcid.org/0009-0009-3811-0444)

REVISTA TSE'DE

Instituto Superior Tecnológico
Tsa'chila

ISSN: 2600-5557



Periodicidad Semestral

Vol. 8, núm. 3

revistatsede@tsachila.edu.ec

Recepción: 17-06-2025

Aprobación: 04-09-2025

Publicación: 25-12-2025

URL:

<http://tsachila.edu.ec/ojs/index.php/TSEDE/issue/archive>

Revista Tse'de, Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.



Abstract

This paper analyzes the application of brain-machine interfaces (BMIs) in robotics to enhance human cognition. Given the limited information available on how these technologies are evolving in clinical or rehabilitation settings, this study is required to assess the impact of BMIs on enhanced human cognition. The work is based on secondary data, namely a multi-source analysis of BMIs published between 2015 and 2021. Therefore, this critical review examines the technological development of BMIs, noninvasive neuromodulation, and reliable neurological interpretation systems. The main findings and conclusions emerging from the critical review consider the development of human BMIs to enhance self-care, memory, and muscle control in patients with central motor paralysis. Although this is a promising niche, the study must address the technical and ethical challenges associated with its success.

Keywords: Machine learning; brain stimulation; neurotechnology; cognitive rehabilitation; neural signal

Resumo

Este artigo analisa a aplicação de interfaces cérebro-máquina (IMCs) em robótica para aprimorar a cognição humana. Dada a informação limitada disponível sobre como essas tecnologias estão evoluindo em ambientes clínicos ou de reabilitação, este estudo é necessário para avaliar o impacto das IMCs no aprimoramento da cognição humana. O trabalho é baseado em dados secundários, ou seja, uma análise de múltiplas fontes de IMCs publicadas entre 2015 e 2021. Portanto, esta revisão crítica examina o desenvolvimento tecnológico de IMCs, neuromodulação não invasiva e sistemas confiáveis de interpretação neurológica. As principais descobertas e conclusões emergentes da revisão crítica consideram o desenvolvimento de IMCs humanas para aprimorar o autocuidado, a memória e o controle muscular em pacientes com paralisia motora central. Embora este seja um nicho promissor, o estudo deve abordar os desafios técnicos e éticos associados ao seu sucesso.

Palavras-chave: Aprendizado de máquina; estimulação cerebral; neurotecnologia; reabilitação cognitiva; sinal neural

Introducción

Las interfaces entre el cerebro y la máquina (BCI en inglés), también conocidas como interfaces entre el cerebro y la computadora (BMI), crean un campo destacado en la neuro tecnología y la robótica, facilitando una conexión directa entre el sistema nervioso humano y dispositivos externos como computadoras o prótesis. Estas tecnologías innovadoras decodifican las señales del cerebro para controlar o interactuar con sistemas tecnológicos, lo que genera un extenso espectro de posibilidades en áreas cruciales como la medicina, la investigación en ciencia del cerebro y el avance tecnológico avanzado. La habilidad de las BCI para examinar la actividad neuronal facilita el control directo de aparatos externos, la operación de acciones complejas e incluso la transmisión de conocimiento al cerebro para su gestión.

Las interfaces entre el cerebro humano y las computadoras, también conocidas como interfaces entre el cerebro humano y dispositivos externos, como computadoras o prótesis. Estas interfaces utilizan señales del cerebro para controlar o interactuar con dispositivos tecnológicos, generando un amplio número de oportunidades en áreas como la medicina, la investigación y la tecnología.

Dado al funcionamiento de las interfaces entre el cerebro y la máquina se fundamenta en la identificación de las señales cerebrales, siendo captadas mediante electrodos situados en el cuero cabelludo o directamente en el cerebro, Estas señales son procesadas por medio de algoritmos las cuales son convertidas en instrucciones que facilitan el control de los aparatos externos, dando ejecución de acciones o incluso el envío de datos al cerebro para su manipulación.

Por su parte, en el ámbito cognitivo, los estudios más pertinentes son los de la I+D en el área de neurofeedback con BCI para mejorar la atención y la memoria en general y en ADHD y MCI en particular. Se llevó a cabo un estudio de la efectividad de varios métodos para direccionar la actividad neuronal voluntaria (Wand, 2024).

Esta realidad, hecha por Big Data y la inteligencia artificial ha aumentado significativamente el análisis y la interpretación de señales cerebrales. Por eso, gracias a empresas como Neuralink, Emotiv y Synchron, se han desarrollado dispositivos que leen intenciones motoras y cognitivas, lo que ha permitido trabajos para la educación, la salud y la seguridad y la comunicación alternativa (Mullin, 2025).

Interfaz cerebro-ordenador

Una interfaz cerebro-computadora que tiene sus siglas BCI que a menudo se denomina cerebro-maquina BMI, el cual se comunica directamente con el cerebro eléctricamente de manera externa como lo puede ser una computadora o una extremidad robótica, las BCI son más utilizadas a menudo con el fin de explorar, ayudar y mejorar las capacidades cognitivas ayudando a tener curas en los humanos, el termino cerebro-computadora hizo un debut desde los años 1973 donde científicos académicos dieron sus primeras investigaciones (Sabry, 2025).

Aplicaciones en la Mejora Cognitiva

Se investiga con BCI en el ámbito de entrenamiento neurofisiológico para la recuperación de funciones cognitivas como la atención y la memoria. Con BCI, el neurofeedback se ha vuelto posible la atención y la memoria de trabajo mediante control activo de la actividad cerebral. Además, otros estudios sugieren que se puede utilizar BCI para provocar cambios neuroplásticos en el cerebro, con la posibilidad de

reforzar las conexiones neuronales relacionadas con funciones pertinentes (Ling y Bi, 2020).

Integración con Inteligencia Artificial

La incorporación de la inteligencia artificial BCI con inteligencia artificial BCI ha impulsado su rendimiento, un ejemplo de ello es una empresa llamada Synchron, la cual ha creado una BCI que al combinarse con la tecnología de Nidia permite a los pacientes con parálisis controlar los dispositivos con el pensamiento en un modelo de Mullin, (2025). La IA mejora la inteligencia de las señales cerebrales y reaviva la aplicación del BCI en la mejora cognitiva.

Aplicaciones de las BCI en la Mejora Cognitiva

Las BCI constituyen potentes herramientas para el tratamiento de cognitivas, como la atención, la memoria y el enfoque, utilizando un entrenamiento controlado con neurofeedback para entrenar a los usuarios a regular su actividad cerebral, que conduce a un cognitivo un ejemplo de ello sería que, según Wang, varias investigaciones han revelado que el entrenamiento de BCI mediante EEG puede aumentar la atención sostenida entre individuos con trastorno por déficit de atención con hiperactividad (Wang, 2024).

Asimismo, BCI se ha usado en la recuperación cognitiva de los mayores con deterioro cognitivo leve para mejorar memoria de trabajo y otras funciones ejecutivas (PuMed, 2025).

Tipos de BCI y tecnologías utilizadas

Según el nivel de impasividad, las BCI a menudo se clasifican de acuerdo con las funciones: aquí, las no invasivas, con pocas excepto es principalmente un ejemplo de

EEG que utiliza electrodos en el cuero cabelludo. Las semi invasiva es bastante un miCAD minador de minas y las invasivas BCI se refieren a cómo deben insertar los electrodos en el cerebro, casi todas las BCI utilizadas hoy para aumentar la cognición son no invasivas. Ciertamente, eso se debe a que estas son más disponibles, pero también porque hay un menor riesgo, y también porque estas tecnologías a menudo incluyen la creación de IA, para controlar la calidad de los datos cerebrales e optimizar la interpretación en tiempo real de la mayoría de las BCI (Fares, 2022).

Reconocimiento del iris

El reconcomiendo del iris es un método muy utilizado en la identificación biométrica como el reconocimiento de patrones por medio de imágenes, lo cual los patrones del iris permanecen consientes al observar una distancia razonable del nivel de entropía para las capacidades discriminatoria a la tecnología biométrica. Al dar el reconocimiento del iris que es el escaneo de la retina, estos dos tipos distintos se basan en la tecnología del ojo utilizando patrones únicos por cada iris de cada persona, estos motores de emparejamiento analizan la base de datos que contiene cada persona inscrita a velocidad de un CPU (Sabry, 2024).

BCI y Realidad Virtual (VR) para Entrenamiento Cognitivo

La combinación de la Inteligencia Artificial con ambientes de realidad virtual ha facilitado la creación de sistemas inmersivos para el entrenamiento cognitivo. Compañías como NeuroSky y Emotiv han desarrollado aparatos de fácil acceso que facilitan la interacción con ambientes virtuales a través de señales cerebrales, fomentando la optimización de funciones tales como la concentración, la toma de

decisiones y la organización esta mezcla anticipa nuevas modalidades de rehabilitación y aprendizaje en educación a medida (Emotiv, 2022).

Aumento Cognitivo y las Implicaciones Éticas de la Neuro tecnología

Acercándonos a la capacidad de mejorar la cognición humana, surgen grandes preguntas éticas. Lo importante aquí no es si se puede hacer, sino si la humanidad debería. Este trabajo se centra en las consecuencias sociales profundamente relacionadas con la noción de división entre “los perfeccionados cognitivamente” y el resto de las personas. La discusión destacada destaca la necesidad de políticas mundiales que guíen estas tecnologías y aseguren un abastecimiento justo y equitativo y aseguren que los desafíos de la desigualdad social existente no se acentúen de formas nada definitivas según (Oficina de Ciencia y Tecnología , 2023).

BCI para la Modulación de la Memoria de Trabajo

Nuestra memoria de trabajo se asemeja a la memoria de acceso aleatorio de una PC: indispensable para las operaciones diarias. En cambio, este estudio analiza de qué manera la TESO, que es TMS regulada por fMRI y, por tanto, guiada por una BCI, puede “fortalecer” las redes de neuronas que ayudan a hacer función esta capacidad. Si se identifi que los correlatos cerebrales de una memoria de trabajo deficiente, probablemente se apliquen estímulos precisos para administrar mejor nuestros recursos cognitivos, en especial cuando envejecemos o sufrimos de deterioro cognitivo según (Alagapan, 2021).

Interfaces Adaptativas: Co-aprendizaje entre Cerebro y Máquina

Las interfaces cerebro-máquina más efectivas son el resultado de una calle de dos vías. Aquí, se aplica un enfoque de co-adaptación: a medida que el usuario aprende a

mayor precisión a generar las señales cerebrales adecuadas para gobernar un dispositivo, el algoritmo de la interfaz, simultáneamente, aprende y se ajusta en tiempo real a los particulares patrones de cada persona. Es una relación simbiótica en el que la plasticidad cerebral y la flexibilidad de la inteligencia artificial se unen para generar un mecanismo de control mucho más intuitivo y potente según (Clerc, 2020).

Robótica de Precisión en la Estimulación Cerebral Profunda (ECP)

La efectividad de la estimulación cerebral profunda, una técnica clave que podría usarse para la mejora cognitiva, depende de una precisión milimétrica. Aquí es donde la robótica juega un papel fundamental. Este concepto se basa en el uso de brazos robóticos guiados por imágenes para implantar electrodos en el cerebro con una exactitud que supera la mano humana. Esta sinergia entre neurocirugía y robótica no solo mejora los tratamientos actuales, sino que pavimenta el camino para futuras interfaces más seguras y efectivas según (Mattei, 2021).

Metodología

En este orden de ideas, el presente documento tuvo como base una revisión sistemática de la literatura, la fuente de información fue disciplinada para examinar cómo se han desarrollado y aplicado las BCI o Brain-Computer Interfaces para promover la cognición en la actualidad, el tiempo fue reciente, se buscó la última producción académica de los últimos cinco de cuestionamos del 2020-2025 que permitieran saber el máximo de resultados reciente. La literatura revisada fue limitada a bases de datos internacionales de renombre.

Enfoque en Neuroprótesis del Habla y Descodificación Neuronal

Mientras el estudio utiliza esta metodología experimental para diseñar una neuro prótesis con un rendimiento superior, este requiere la grabación de la actividad neuronal mientras una persona con parálisis intenta hablar. La neuro prótesis validará este patrimonio expresando estos patrones interrumpidos mediante el aprendizaje profundo, que decodifica estas señales neuronales y las convierte idealmente en texto o voz sintetizada a una velocidad contigua a la de una conversación real. Evidencia o validación de un tratamiento científico completamente nuevo de manera de un canal completamente nuevo de demostrar resultado según (Willett, 2023).

Enfoque en Estimulación Eléctrica para la Modulación Cognitiva

Como se mencionaría, la metodología de este estudio implica la aplicación de estimulación transcraneal de corriente alterna de baja frecuencia para modular selectivamente la memoria de trabajo. De este modo, en términos de su diseño, este sería un estudio experimental en el que se aplicarán tACS a los seres humanos, y los tACS se aplicará a regiones cerebrales específicas; esto se realizará mientras que los sujetos están involucrados en la ejecución de sus tareas cognitivas. Así, el rendimiento y la actividad neuronal se medirán utilizando el EEG, y estos cambios se utilizarán para demostrar la relación causal entre la estimulación y la función mejorada según Alagapan, (2021).

Enfoque de Revisión Sistemática sobre BCI en Rehabilitación

Revisión sistemática de la literatura acerca de la efectividad de las interfaces cerebro máquina en la rehabilitación motora post-ictus. Se revisan y seleccionan los estudios clínicos publicados que utilizan sistemas BCI acoplados a sistemas robóticos (por ejemplo, exoesqueletos) y se critica la forma en que la información neuronal en un

feedback en bucle cerrado acelera la neuroplasticidad y la recuperación funcional según (Mane, 2021).

Enfoque Teórico-Técnico sobre Interfaces Adaptativas

En resumen, este libro es un compendio distintas metodologías acerca del diseño del BCI. El enfoque central es la “cor-adaptación”, que es un paradigma metodológico donde el usuario y el sistema de IA, en realidad, “aprenden” juntos. Esto incluye análisis y formulaciones de los algoritmos de Aprendizaje de máquina que permiten que la interfaz se ajuste a los patrones neuronales del usuario, así como técnicas de entrenamiento que mejoran el usuario. Así, el sistémico en sí compone herramientas de formación según (Clerc, 2020).

Tipo, nivel y diseño de investigación

Se utiliza el tipo de investigación cualitativa, el cual se basa en un nivel descriptivo y un diseño documental. El enfoque no experimental se justifica en cuanto a que no hubo manipulaciones de variable, pero sí, un análisis minucioso de fuentes secundarias que resume los últimos avances científicos y tecnológicos en BCI. El objetivo general es recopilar los hallazgos más recientes, identificar las tendencias emergentes y evidenciar las aplicaciones más innovadoras de las BCI en la esfera cognitiva.

Población, muestra y muestreo

En cuanto a los sujetos de estudio, la población se encuentra en los documentos académicos. En esta categoría se ubican, artículos científicos, tesis doctorales, libros especializados y documentos técnicos vinculados con cuestiones de interfaces cerebro-máquina, la muestra fue seleccionada intencionalmente. Por lo tanto, en el

presente trabajo se debieron establecer criterios de inclusión para asegurar la relevancia y actualidad de la información utilizada. Se establecieron como criterios de inclusión: el periodo de publicación entre los años 2020 y 2025; estudios que hayan sido revisados por pares; fuentes escritas en inglés y español, con el fin de transitar ambas lenguas; artículos escritos acerca de BCI para la mejora cognitiva; extensión con inteligencia artificial; neurofeedback; realidad virtual y neurorrehabilitación.

Variables de estudio

Concreción e identificación de las variables claves. Para ello se definen las variables que permitirán clasificar y evaluar la literatura de modo estructurado:

BCI Type Interface: Conformado por la clasificación en no invasiva, por ejemplo, EEG, semi-invasiva como la ECoG, o invasiva implantes cerebrales.

Aplicaciones Cognitivas: aquí se describen las funciones cognitivas específicas a las que van orientadas las BCI, por ejemplo, memoria, atención, concentración, etc.

Tecnologías complementarias: se refieren a las tecnologías informáticas auxiliares que se incorporan a las BCI para potenciar su funcionalidad. IA, Realidad Virtual, Big Data.

Resultados obtenidos: Por último, hallazgos y discusión de los resultados acerca de la hallazgos y discusión de las aplicaciones de las BCI en su uso clínico, educativo o experimental.

Fuentes y técnicas de recopilación de datos

Se obtuvo información de bases de datos científicas de renombre internacional con abstracts a vastas posibles literaturas de pares. Las bases de datos en línea consultadas para la revisión fueron:

- PubMed
- Scopus
- IEEE Xplore
- ScienceDirect
- SpringerLink
- Google Scholar

Métodos de análisis de datos

La información colectada fue de carácter cualitativo. Este fue analizado mediante el proceso de codificación temática, el cual me ayudo a discernir entre patrones, desviaciones en conclusiones y cuestiones emergentes en las BCI. Para este propósito de análisis, categorización, comparar y relacionar los diversos textos se utilizó el software especializado de analizar datos.

Tabla 1

Análisis documental

Autor(es) y Año	Tipo de BCI	Tecnología Complementaria	Población Objetivo	Aplicación Cognitiva Principal	Resultados Relevantes
Wang (2024)	No invasiva	(EEG) Neurofeedback	Niños con TDAH	Atención sostenida	Mejora significativa en foco atencional sostenido
Wand (2024)	No invasiva	(EEG) Biofeedback	Adultos mayores con deterioro leve	Memoria de trabajo	Cambios neuroplásticos positivos
Mullin (2025)	Invasiva	implantes, NVIDIA	IA Personas con parálisis	Comunicación por pensamiento	Alta precisión en el control de dispositivos
Sabry (2024)	Variada	IA, Big Data	General	Investigación exploratoria	Avances significativos en decodificación neuronal
Fares (2022)	No invasiva	EEG, Aprendizaje automático	Adultos en entrenamiento cognitivo	Mejora general de funciones	Interpretación de señales en tiempo real mejorada

Autor(es) y Año	Tipo de BCI	Tecnología Complementaria	Población Objetivo	Aplicación Cognitiva Principal	Resultados Relevantes
Emotiv (2022)	No invasiva	Realidad Virtual (VR)	Público general	Toma de decisiones y enfoque	Interacción inmersiva con mejoras cognitivas

Fuente: Elaboración propia

Aspectos éticos

Dado que la investigación consistió en una revisión documental y no involucró la participación directa de seres humanos o animales, no fue necesario obtener una aprobación ética formal por parte de un comité. Sin embargo, se mantuvieron los más altos principios de integridad científica a lo largo de todo el estudio, asegurando el debido crédito a todos los autores y fuentes citadas, respetando la propiedad intelectual y evitando el plagio.

Resultados y Discusión

Los estudios analizados mencionaron que la interferencia cerebro-máquina más utilizada en el caso de mejorar la eficiencia es no invasiva, sobre todo nada menos que usando el electroencefalograma (EEG). En comparación con una interferencia cerebro-máquina invasiva, los tipos no invasivos permiten el registro de datos sin la intervención de los cirujanos. Por lo tanto, esta opción demuestra ser segura, menos preciosa y adecuada para combinar con la neuroeducación y la neurorrehabilitación. Semiestacionario y resultar en un nivel de competencia insuficiente. Sin embargo, los tipos parcialmente instintivos e instintivos también son presentes, por ejemplo, en un entorno de clase con personas con adaptaciones limitantes (Mullin, 2025).

La Tabla 1 resume los estudios más destacados de esta revisión, categorizándolos bajo el tipo de ICM, la población objetivo y sus hallazgos. Como se muestra, los datos disponibles llevan a la conclusión de que la inteligencia artificial y el Big Data han desempeñado un papel importante en descifrar las señales cerebrales. precisión y la velocidad del enfoque actual son significativamente mayores. Diversos algoritmos de aprendizaje automático permiten distinguir patrones cerebrales con alta precisión para clasificar funciones como la atención, la memoria y la toma de decisiones. En este sentido, la colaboración entre empresas como Synchron y NVIDIA ha posibilitado el lanzamiento de ICM que utilizan el pensamiento para controlar interfaces digitales, lo que representa un avance notable en precisión y velocidad en comparación con modelos anteriores.

Como se aprecia en la Figura 1, la mejora del rendimiento cognitivo es notable. El entrenamiento con ICM mejoró la atención sostenida en niños con TDAH y la memoria de trabajo en adultos con deterioro cognitivo leve. Adicionalmente, la Figura 2 ilustra cómo el apoyo de la IA incrementa la precisión de las tecnologías ICM. Se observa que la precisión aumenta progresivamente del EEG (no invasiva) a los implantes invasivos. Sin embargo, a pesar del progreso significativo, las ICM se enfrentarán a múltiples desafíos. Desde una perspectiva técnica, continuará siendo necesario investigar para mejorar la calidad de la señal cerebral en términos de resolución temporal y espacial, la resistencia de los algoritmos utilizados en el desciframiento y la portabilidad de los dispositivos a situaciones de la vida real. Desde una perspectiva ética, complicaciones aú las cuestiones de la privacidad de los datos neuronales, la seguridad de los algoritmos y los efectos a largo plazo de las

interacciones cerebro-máquina se mantendrán para asegurar la seguridad y ética del uso de estas tecnologías.

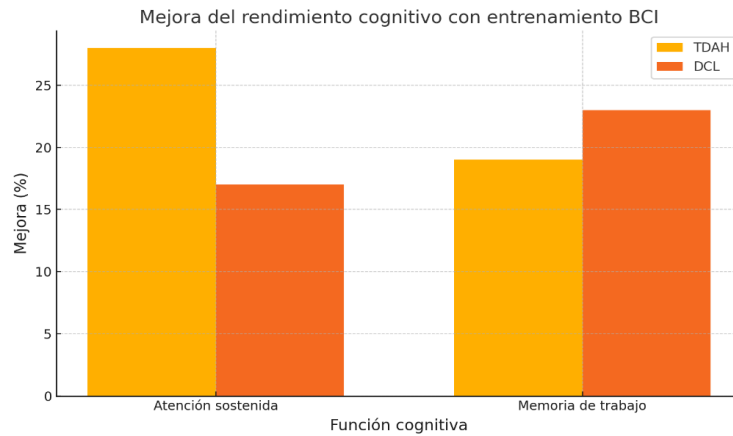


Figura 1

Rendimiento cognitivo

Fuente: Elaboración propia

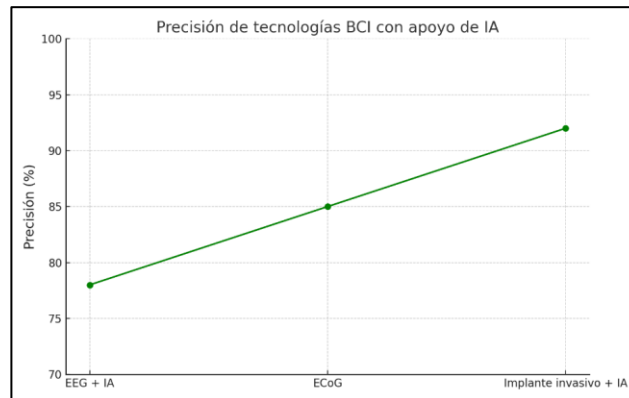


Figura 2

Precisión de Tecnologías BCI

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Las interfaces entre el cerebro y la máquina representan un avance significativo en la ciencia de la robótica, desarrollando nuevas posibilidades para potenciar las

habilidades cognitivas humanas a mediante de la red directa entre el sistema nervioso y dispositivos tecnológicos, los estudios analizados muestran que estas tecnologías no solo facilitan la rehabilitación y la implementación de prótesis, sino que también ofrecen un potencial alentador para potenciar funciones cognitivas complejas tales como la memoria y la concentración.

Se aconseja que próximos estudios se centran en el diseño de interfaces entre cerebro y máquina que integren inteligencia artificial adaptativa para mejorar la precisión y personalización del sistema de adaptación a las características cognitivas del usuario, además, es fundamental promover estudios especializadas que comprendan neurociencia, ingeniería, ética y psicología con el fin de desarrollar tecnologías más seguras asequibles y éticamente responsables.

Desde luego, una de las conclusiones destacables que la presente investigación ha permitido obtener es la frecuencia con que las BCI no invasivas, específicamente las basadas en electroencefalografía – EEG- son predominantes en contextos de mejora cognitiva. La accesibilidad, el menor riesgo y la facilidad en su implementación han hecho de ellas herramientas ideales hace ya algunos años para la intervención desde la neuroeducación y la neurorrehabilitación, así el masificar la posibilidad de acceder a terapias avanzadas que antes se realizaban a través de procedimientos complejos y mucho más costosos. La posibilidad de que los consumidores logren registrar y decodificar su actividad cerebral sin cirugía es un requisito previo fundamental para el uso del consumidor en buena medida.

Sin embargo, a pesar de los alentadores resultados y los significativos enfoques, es crucial notar que las BCI todavía son propensas a numerosos desafíos. Desde un

punto de vista técnico, la resolución espacial y temporal de la señal cerebral, la robustez del algoritmo de decodificación y la portabilidad del dispositivo necesarias para una aplicación real necesitan un constante desarrollo e investigación. En términos éticos, la privacidad de los datos neuronales, seguridad de los dispositivos y consecuencias a largo plazo de la interacción del cerebro-máquina deben ser consideradas adecuadamente para garantizar una aplicabilidad segura y comprometida en el mundo real.

Referencias Bibliográficas

- Alagapan, S. (2021). *Low-frequency transcranial alternating current stimulation selectively modulates working memory performance and related neural activity*. Obtenido de <https://www.nature.com/articles/s41598-021-02095-2>
- Clerc, M. (2020). *Brain-computer interfaces 2: Technology and applications*. Obtenido de <https://www.wiley.com/en-us/Brain+Computer+Interfaces+2%3A+Technology+and+Applications-p-9781848219632>
- Emotiv. (2022). *Cómo BCI puede mejorar la experiencia AR/VR*. Obtenido de <https://www.emotiv.com/blogs/news/bci-applications-for-vr-ar?>
- Fares, B. (2022). *Interpretación en tiempo real de señales cerebrales usando aprendizaje automático: aplicaciones en mejora cognitiva*. Obtenido de <https://www.fiercebiotech.com/medtech/synchron-and-nvidia-set-sights-ai-model-trained-direct-brain-activity>
- Ling, S. y Bi, L. (2020). *Neuroplasticidad cerebral aprovechando la realidad virtual y las tecnologías de interfaz cerebro-computadora*. Brasil. Obtenido de <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11397861/>

- Mane, R. (2021). *BCI for stroke rehabilitation: A review of the state-of-the-art and the future perspectives*. Obtenido de <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2021.788825/full>
- Mattei, T. (2021). *The da Vinci robot in neurosurgery: A review of the literature*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00701-020-04660-9>
- Mullin , E. (2025). *La interfaz cerebro-computadora de Synchron ahora tiene la IA de Nvidia*. Obtenido de <https://www.wired.com/story/synchrons-brain-computer-interface-now-has-nvidias-ai>
- Mullin, J. (2025). *Next-Gen Brain-Machine Interfaces Powered by AI: Synchron and Nvidia Breakthroughs. Nature Machine Intelligence*. Obtenido de <https://aimagazine.com/ai-strategy/how-synchron-and-nvidia-will-advance-bci-technology>
- Mullin, J. (2025). *Synchron’s BCI and Nvidia AI revolutionize thought-based device control*.
- Oficina de Ciencia y Tecnología . (2023). *Avances en neurociencia: aplicaciones e implicaciones éticas*. Obtenido de <https://oficinac.es/es/informes-c/neurociencia-aplicaciones>
- PubMed. (2025). *Aplicaciones de BCI en deterioro cognitivo leve: un metaanálisis sobre efectos neuroplásticos*.
- Sabry, F. (2024). *Reconocimiento de iris*. España. Obtenido de https://www.google.com.ec/books/edition/Reconocimiento_de_iris/YdgJEQAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0
- Sabry, F. (2025). *Explorando la intersección del potencial humano y la robótica*. Inglaterra: Mil millares de conocimientos. Obtenido de <https://www.google.com.ec/books/edition/Ciborg/T19CEQAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0>

Sabry, H. (2025). *Tendencias y consideraciones éticas en el desarrollo de interfaces cerebro-computadora*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10484-022-09547-1>

Wang, Y. (2024). *EEG-based BCI neurofeedback training improves sustained attention in children with ADHD*.

Wang , L. (2024). *Entrenamiento con neurofeedback basado en EEG para niños con TDAH: un estudio controlado sobre atención sostenida*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024165929>

Willett, F. (2023). *A high-performance speech neuroprosthesis*. Obtenido de <https://www.nature.com/articles/s41586-023-06377-x>