

Artículo de Revisión Bibliográfica

# Aplicaciones de implantes cerebrales y su trascendencia en la actualidad

Applications of brain implants and their importance today

Sierra Martínez Natalia<sup>1</sup>  Angulo Noelia<sup>2</sup>Carrera de Ingeniería Biomédica, Universidad Privada del Valle – Cochabamba. Email: [nataliasiemartinez@hotmail.com](mailto:nataliasiemartinez@hotmail.com), [smn2019512@est.univalle.edu](mailto:smn2019512@est.univalle.edu)Carrera de Ingeniería Biomédica, Universidad Privada del Valle – Cochabamba. Email: [noeangulo123@gmail.com](mailto:noeangulo123@gmail.com) – [an2019457@est.univalle.edu](mailto:an2019457@est.univalle.edu)

## RESUMEN

En la actualidad los avances en la neurociencia están tomando un papel muy importante, debido a la necesidad de mejorar la calidad de vida de las personas. El presente trabajo consiste en la descripción de las aplicaciones de los implantes cerebrales y su trascendencia en la actualidad, con base en una revisión bibliográfica.

El implante cerebral ha llegado a ser considerado el futuro para el área de la neurociencia debido a que se ha logrado avances considerables, además de tener un futuro prometedor en la aplicación a personas con Alzheimer y Parkinson. También, se lo toma en cuenta como una posible solución para recuperar el movimiento en el caso de personas con parálisis, donde se busca tener control de las extremidades mediante estímulos eléctricos generados por el implante cerebral. A pesar de los beneficios del dispositivo, hay algunas desventajas que se deben tomar en cuenta, por ejemplo, el material para el dispositivo aún sigue en estudio para una mayor vida útil. Por otro lado, hubo pacientes con cambios de personalidad y un estado de depresión por la dependencia del aparato. Sin embargo, con el implante cerebral en proyectos futuros se busca mantener el control de robots y aviones exclusivamente por medio del pensamiento, también se está creando un prototipo que permitiría conectar la mente con un ordenador. Con todos los avances realizados y los que quedan por hacer, es necesario seguir con el estudio acerca este tipo de dispositivos, ya que puede cambiar y mejorar muchas vidas.

**Palabras clave:** *Implante cerebral, neurociencia, interfaz cerebro-máquina, estimulación cerebral, neuroprótesis.*

## ABSTRACT

At present, advances in neuroscience are taking on a very important role, due to the need to improve people's quality of life. The present work consists of the description of the applications of brain implants and their current significance based on a bibliographic review. The brain implant has come to be considered the future for the area of neuroscience because considerable advances have

**Citar como:** Sierra Martínez, N., & Angulo, N. Aplicaciones de implantes cerebrales y su trascendencia en la actualidad. *Journal Boliviano De Ciencias*, 20(55), 69-87 <https://doi.org/10.52428/20758944.v20i55.250>

**Revisado:** 29/01/2024  
**Aceptado:** 14/05/2024  
**Publicado:** 30/06/2024

**Declaración:** Derechos de autor 2024 Sierra Martínez, N., & Angulo, N., Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Los autores/as declaran no tener ningún conflicto de intereses en la publicación de este documento.



been made, in addition to having a promising future in application to people with Alzheimer's and Parkinson's. It is also taken into account as a possible solution to recover movement in the case of people with paralysis, where it is sought to have control of the extremities through electrical stimuli generated by the brain implant. Despite the benefits of the device, there are some disadvantages that must be taken into account, for example, the material for the device is still under study for a longer service life. On the other hand, there were patients with personality changes and a state of depression due to dependence on the device. However, with the brain implant in future projects it is sought to maintain control of robots and airplanes exclusively through thought, a prototype is also being created that will allow connecting the mind with a computer. With all the advances made and those that remain to be made, it is necessary to continue with the study of this type of device, since it can change and improve many lives.

**Keywords:** *Brain implant, neuroscience, brain-machine interface, brain stimulation, neuroprosthesis.*

## INTRODUCCIÓN

El origen de la medicina se remonta prácticamente a la propia aparición del ser humano, ya en el Neolítico se han detectado diferentes patologías como la artritis o la acondroplasia, y hay muestras evidentes de que ya en esta época se realizaban trepanaciones (Marqués, 2021). Desde el inicio de los tiempos el hombre tiene como principal objetivo la supervivencia a su entorno, hicieron uso del ingenio y creatividad con el fin de encontrar las herramientas necesarias para su pervivencia.

Gracias a la ciencia e ingeniería se hicieron grandes descubrimientos científicos, grandes inventos para el beneficio de la humanidad. La tecnología cada día se vuelve primordial en muchos aspectos de la vida, y al hablar de salud, es indispensable. La tecnología en la medicina salva vidas, mejora la salud y en muchos casos contribuyen a una sanidad sostenible, son una serie de ventajas y beneficios que vienen con ella. Continuamente hay innovaciones y cada año se hacen proyecciones de avances en este sector.

Durante mucho tiempo el cerebro ha sido estudiado de muchas maneras. La neurociencia aborda el estudio del funcionamiento cerebral desde una perspectiva multidisciplinaria, integrando aportes de diversas disciplinas como la física, la química, la biología, la neurología, la genética, la informática, la psiquiatría y la (neuro)psicología. Estos estudios son fundamentales para comprender los procesos mentales, especialmente aquellos de naturaleza compleja, como la inteligencia, la conciencia, la personalidad y las emociones (Tirapu Ustárro, 2024).

La neurociencia tiene varias ramas de estudio específicas como la neurociencia cognoscitiva, esta se enfoca en la relación entre el cerebro y la mente desde diferentes puntos de vista (Albright et al., 2000). De la misma forma la neurociencia computacional explica cómo se utilizan las señales eléctricas y químicas en el cerebro para representar y procesar información (Sejnowski et al., 1988).

Entre las primeras investigaciones en relación con el desarrollo de chips informáticos, según Horgan (2005), Theodore Berger elaboró chips capaces de ser enlazados con las neuronas en un esfuerzo por compensar la pérdida de memoria. Explicó que debido a las condiciones del cerebro y la corrosión que podría sufrir el chip, el desafío en la creación de estos dispositivos está en establecer una conexión fiable y de largo plazo entre las neuronas y el implante.

El implante cerebral no solo toma en cuenta el avance en la creación del puente entre cerebro-máquina, sino también significa tener la posibilidad de tener un dispositivo que pueda mejorar la calidad de vida de las personas con pérdida de la función muscular, teniendo como objetivo devolver la capacidad del movimiento de brazos y piernas. Además con el implante, es posible tratar el Parkinson mediante estímulos, de la misma forma se lograría tratar el Alzheimer, en cuanto a mejorar la memoria y en otros casos evitar la pérdida de memoria, incluso el implante podría ser utilizado en personas con depresión. Hay investigaciones que han evaluado la estimulación cerebral profunda en regiones como el núcleo accumbens (NAc), esta región es la puerta de entrada en el circuito de la recompensa y el placer, de modo que al no funcionar correctamente, estaría directamente relacionado con dos manifestaciones fundamentales del trastorno depresivo. Reportes anteriores de individuos con trastorno depresivo resistente al tratamiento (DRT) que han sido sometidos a Estimulación Cerebral Profunda (DBS) en el Núcleo Accumbens (NAc) han demostrado mejoras en el estado de ánimo e incluso observaron cambios positivos en la interacción social con su entorno. Sin embargo los casos de estudio son pocos por lo cual es necesario más investigaciones para que en un futuro se pueda realizar estas estimulaciones mediante implantes cerebrales (Pérez et al., 2020).

Este trabajo tiene la finalidad de dar a conocer que, dentro de los avances tecnológicos en el área de la neurociencia, se tiene al implante cerebral, que tiene como objetivo principal, generar una interfaz cerebro-máquina o cerebro-computadora. Se expondrá las características que posee y la manera en la que es implementado en el paciente, analizando los pros y contras del dispositivo. Es difícil prever lo que depara la ciencia médica, sin embargo, es necesario adaptarse y seguir el desarrollo de la medicina para ofrecer los servicios médico-tecnológicos precisos para salvar y mejorar la calidad de vida.

## **METODOLOGÍA**

### **•Definición del tema**

El presente estudio pretende aumentar los conocimientos referentes a las investigaciones en el campo de la ingeniería biomédica, reflejados en una recolección bibliográfica donde se analiza los avances y los resultados de investigaciones realizadas en la carrera. Otro de los motivos esenciales para llevar a cabo la investigación es que la misma representa todos aquellos intereses que se quiere alcanzar al culminar la carrera, además de implementar este tipo de investigaciones en el país y el deseo constante de superación.

Ya teniendo trabajos de investigación base sobre nuevos avances en la profesión que se está desarrollando, se comenzó con la búsqueda de información referente al área en la cual se quería realizar el estudio. Se identificaron bastantes descubrimientos tecnológicos en el campo de la medicina, los cuales han hecho un gran aporte a la evolución de los diferentes tratamientos o procedimientos médicos que se practican, tal es el caso del implante cerebral que manifiesta grandes avances en el campo de la neurociencia. Debido al amplio campo sobre el tema, nace una pregunta fundamental para la definición del objeto por estudiar: ¿Qué es un implante cerebral? tomando en cuenta la extensa cantidad de respuesta encontradas, nacieron muchas más interrogantes con las cuales se pudo consolidar el trabajo. La selección del tema a investigar se debió a la complejidad de este dispositivo y la tecnología aplicada para su funcionamiento, además de los beneficios que se puede tener con su implementación.

### •Fijar los límites de la investigación

Los límites establecidos para la elaboración del documento partieron de la pregunta base ¿Qué es un implante cerebral? Mediante la cual fueron definidas las preguntas de investigación que delimitarían el tema, donde se buscó estructurar el desarrollo con los puntos de estudio más importantes del implante cerebral, y se llegó a las preguntas de ¿Cómo funciona un implante cerebral y qué propósito tiene?; ¿Qué características posee?; ¿Cómo es implementado en el paciente?; ¿Qué beneficios y riesgos se tiene al usar este tipo de implante? Y finalmente ¿Qué avances se obtuvieron en las últimas pruebas de funcionamiento?

### •Obtención y filtrado de fuentes de información respecto al tema elegido

En primer lugar, se llevó a cabo una búsqueda en Google Scholar de documentos e investigaciones de neurociencia publicados por diferentes fuentes a nivel internacional. Para poder realizar una investigación más específica se tomó en cuenta las palabras claves como ser implante cerebral, interfaz cerebro máquina, implante neural, avances en neurociencia, proyectos en neuroprótesis, implante electrónico. Se buscó en revistas, páginas web y periódicos en las que fueron mencionados los avances de los implantes cerebrales. Esta búsqueda se hizo tanto en español como en inglés y sin límite de fecha. Entre las fuentes se tiene dos periódicos Blandria Sofia, El Ciudadano (2019); Song Aly, La Voz de Galicia (2020); Hamzelou Jessica, Heraldo(2017); New Scientist, Hamzelou Jessica (2017); The New York Times, Carey Benedict (2018); Advanced Funtional Materials, Bettinger Christopher(2018) ; Institut Guttmann (2018); Nature Outlook:The brain, Drew Liam (2019); IEEE Spectrum, Bouton Chad (2021); y la fuente de la que se encontro mayor cantidad de información es la página web teniendo entre este 12 de las fuentes las cuales son Xacata, Pastor Javier (2015); Salud Carlos Slim,Francisco Ponce (2016); Nasa, Lineberry Denise (2017); Clinic Barcelona, Falgas Martinez (2018); The Verge, Chen Angela (2018); Institut Guttmann(2018); Future and Healthcare, Musk Elon(2019); NeuroClass, Marte Hugo(2019); OpenMind BBVA, Martín Bruno(2019); Parkinson's Foundation (2021); MCPRO, Juan Ranchal (2021) y Clinic Cloud, Marqués Frederic (2021). Se analizaron además las referencias bibliográficas de los elementos seleccionados con el fin de rescatar otros estudios potencialmente incluíbles para la revisión. El principal criterio de exclusión fue que los artículos no incluyeran información sobre el autor y la fecha de publicación de este.

## •Redacción de la investigación

En la elaboración del desarrollo del trabajo, se tomó en cuenta los ámbitos más importantes que abarcan gran parte de la investigación respecto de los implantes cerebrales, se buscó responder a las preguntas de investigación planteadas llegando a establecer 5 puntos principales: El implante cerebral y su propósito en la actualidad, donde se explicaron los antecedentes respecto del tema y algunos avances actuales. El segundo punto es características, funcionamiento y tipos de implantes; el tercer punto es el proceso de interfaz cerebro-máquina; el cuarto punto es efectos del uso de implantes cerebrales y el quinto punto es futuros avances respecto a implantes cerebrales.

## DESARROLLO

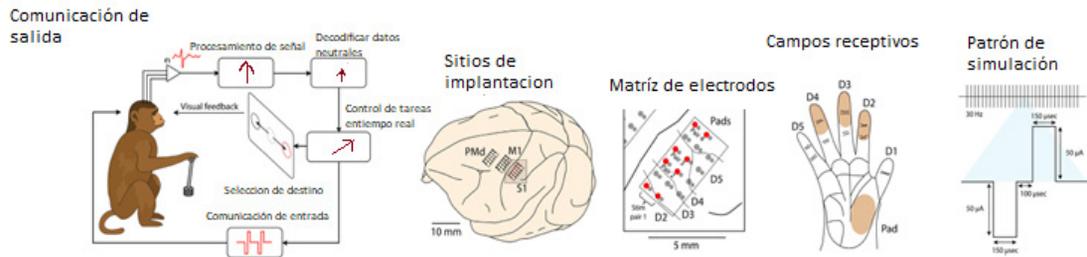
### El implante cerebral y su propósito en la actualidad

En los últimos años, los avances de la tecnología han permitido encontrar una solución a muchos desafíos e incógnitas de la medicina, cosas que antes parecían imposibles, actualmente son una posibilidad o están en proceso de estudio. Los implantes cerebrales o implantes neurales son un claro ejemplo del desarrollo de la tecnología en la medicina. Estos dispositivos implantables, son electrodos posicionados de forma quirúrgica, directamente en el tejido encefálico. Tienen la finalidad de captar señales eléctricas derivadas de las sinapsis de grupos de neuronas determinadas o bien de estimular las conexiones neurales (Marte, 2019).

En marzo de 1998, un paciente diagnosticado de “síndrome de cautiverio” se convirtió en el primer sujeto al que le conectaron en el cerebro una interfaz cerebro-ordenador que le permitía comunicarse con un ordenador, puesto que podía desplazar un cursor con su pensamiento. Este descubrimiento tecnológico fue llamado implante cerebral biónico, Maguire & McGee (2010), dieron a conocer la posible activación de una BCI sencillamente con el raciocinio. Los primeros trabajos sobre conexión directa del cerebro con manipuladores locales y remotos fueron hechos por investigadores en neurociencias de la Universidad de Duke que lograron entrenar a un mono para que controle con su pensamiento un brazo mecánico.

Las pruebas realizadas a monos fueron una experiencia completamente nueva. Según Nicolelis et al (2009), la Figura 1 muestra el proceso que se llevó a cabo. El mono se encontraba frente a una pantalla de video en la que se proyectaban las imágenes de un cursor y objetivos visuales, este adquiría los objetivos con el cursor, ya sea manualmente mediante un joystick o por la actividad de poblaciones de células motoras corticales. Se le implantaron matrices de microalambres en dos áreas corticales motoras (premotora dorsal, PMd y motora primaria, M1) y un área somatosensorial primaria (S1). Los círculos rojos indican pares de electrodos utilizados para la interfaz, esta contaba con líneas entre los electrodos para indicar los límites del campo receptivo. La palma del mono tenía regiones sombreadas que indicaban los campos receptivos para los pares de electrodos utilizados para ICMS y finalmente utilizaba los parámetros del tren de pulsos ICMS.

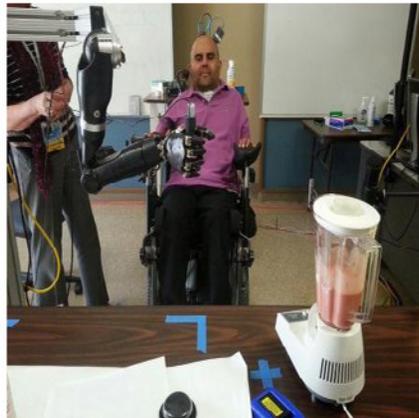
Figura 1. Esquema del paradigma experimental



Fuente: Nicolelis et al, 2009. (Traducido por las autoras)

Cada descubrimiento acerca los implantes cerebrales, ha dado a conocer las posibles soluciones a dificultades a nivel neuronal que pueden ser curadas, gracias al uso de este tipo de implante. Granado (2015), analizó el estudio del grupo conformado por investigadores de The California Institute of Technology y The University of Southern California, donde construyeron un implante cerebral que tiene como finalidad devolver la sensación de control a los pacientes con traumas por lesiones. Es un implante que permite el movimiento de la mano robótica de la Figura 2 mediante impulsos cerebrales, es decir que este implante permitiría a personas con parálisis a controlar el brazo robótico mediante los impulsos cerebrales, sin necesidad de que el paciente este en contacto con cables al brazo robótico, permitiendo una mayor autonomía, pero con una cierta movilidad limitada.

Figura 2. Registro del control de la mano robótica



Fuente: Granado, 2015. (Traducido por las autoras)

De la misma forma, el proyecto multicéntrico diseñado por científicos del Thomas Jefferson Hospital University, Emory University Hospital, University of Texas Southwestern Medical Center, Dartmouth-Hitchcock Medical Center y Hospital of the University of Pennsylvania ha desarrollado un implante cerebral con el fin

de mejorar la memoria. Carey (2018) afirma que el dispositivo funciona como un marcapasos, envía impulsos eléctricos para ayudar al cerebro cuando hay dificultad al retener información nueva, pero se queda en pausa cuando detecta que el cerebro está funcionando bien.

Todas las investigaciones que se han ido realizando respecto al tema durante los últimos 15 años, han demostrado que cada vez la relación que se pueda establecer entre humano-máquina está más cerca de lo que se pensaba. Es decir que las limitaciones que se tenían antes ya no serán un obstáculo en la actualidad.

### **Características, funcionamiento y tipos de implantes**

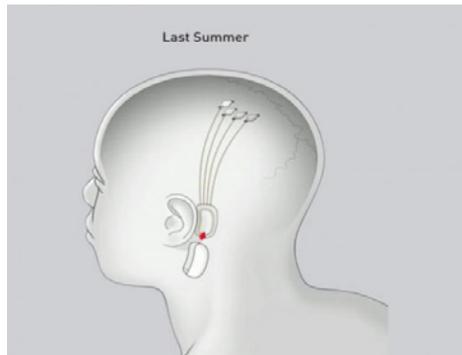
Con el fin de comprender el funcionamiento de los implantes cerebrales, se debe conocer el concepto de neuroprótesis. Son conocidas como tecnología de estimulación eléctrica que reemplazan a los sistemas y organismos neuromusculares dañados o de mal funcionamiento, intentando restaurar procesos corporales normales, creando o mejorando la función, y reduciendo el dolor. Estos sistemas pueden ser implantados o utilizados de manera externa sobre el cuerpo Muccio (2005).

Se considera que están definidas como interfaces neuronales de salida que convierten las intenciones del cerebro en acciones externas, actuando como interfaces neuronales de entrada, toman toda la información del entorno y la convierten en percepciones (Pastor, 2015).

Según la página web del instituto Guttman (2018), la neuroprótesis, es el resultado de la aplicación de los últimos avances tecnológicos, fundamentalmente en microelectrónica, computación y cirugía. Actualmente, es el campo de estudio que más está contribuyendo a la mejora de la calidad de vida de personas con lesiones neurológicas ([www.guttmanninnova.com](http://www.guttmanninnova.com)).

Según Musk (2019), gracias a la neurocirugía, el implante de la Figura 3 es colocado en el cerebro para poder conectarse a miles de neuronas y registrar su actividad. La información obtenida de las neuronas y su actividad se interpreta a través de un procesamiento digital en tiempo real. Esta interpretación permite enviar nuevos datos al implante que enviará señales eléctricas para estimular determinadas neuronas previamente identificadas. Estas señales o estímulos enviados por el implante permiten al cerebro iniciar una acción, como la capacidad de controlar máquinas, ordenadores o dispositivos móviles.

Figura 3. Modelo del implante cerebral



Fuente: Musk, 2019. (Traducido por las autoras)

Los investigadores Naufel & Klein (2020), informaron que para garantizar registros neuronales consistentes a largo plazo, se están desarrollando microelectrodos intracorticales de próxima generación con un mayor énfasis en la reducción de la respuesta neuroinflamatoria y mejor calidad de grabación. Se puede ver progresos en la elaboración, desde los materiales inorgánicos tradicionales hasta el enfoque en minimizar la huella de microelectrodos o incorporar materiales compatibles, moléculas bioactivas, polímeros conductores o nanomateriales.

Según la fuente mencionada anteriormente, Marte (2019), divide los implantes cerebrales en dos grupos: Implantes receptores que tiene como finalidad obtener y transmitir información de la actividad cerebral, e implantes estimuladores que transmiten toda la información mediante impulsos eléctricos que llegan al tejido encefálico. Esta clasificación cuenta con aplicaciones que se están utilizando en diversos ámbitos, permitiendo a un sinnúmero de personas recuperar la esperanza de una cura para sus padecimientos que, en algunos casos, son de pronóstico poco alentadores.

### **Proceso de interfaz cerebro-computadora (ICC) o (BCI)**

Desde el año 1929, el doctor Hans Berger aplicó por primera vez la técnica de la electroencefalografía, esta fue utilizada por doctores y científicos para averiguar el manejo del cerebro. Además, se ha especulado sobre la probabilidad de utilizar el electroencefalograma para descifrar intenciones, de manera que una persona pudiera mantener el control de determinados dispositivos desde su actividad cerebral (Ramos-Argüelles et al., 2009).

Los sistemas de Interfaz Cerebro-Computadora según Moreno et al (2019), se basan en la característica del cerebro de emitir señales eléctricas, y cómo a través de la captación de estas señales, se pueden generar comandos de computador que controlen sistemas como sillas de ruedas con motores.

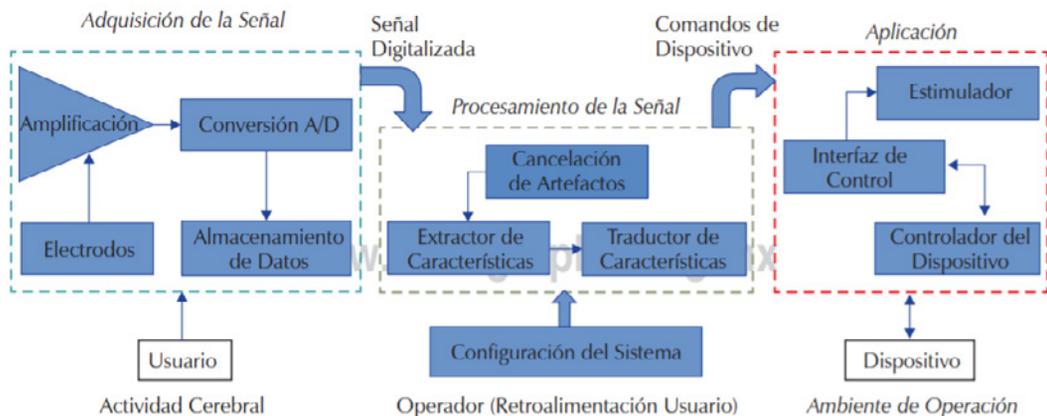
Las tecnologías interfaz cerebro-computadora y la estimulación eléctrica funcional han avanzado significativamente en las últimas décadas. El significado de la

interfaz cerebro-maquina, es muy importante porque gracias a esta, se logra crear el puente entre dos elementos que juntos podrían cambiar la vida de las personas. Las interfaces cerebro-computadora según Bouton (2020), han proporcionado grabaciones neuronales con mayor resolución espacial y se han combinado con sofisticados algoritmos de decodificación neuronal y sistemas de estimulación eléctrica para descifrar señales adquiridas en el cerebro y traducirlas en patrones espacio-temporales. Estos algoritmos de decodificación deben aprender a reconocer patrones neuronales en el cerebro que se generan cuando un usuario piensa en un movimiento que le gustaría ejecutar.

El sistema de interfaz cerebro-computadora ayuda a obtener una comunicación directa entre la actividad cerebral y un dispositivo externo para realizar una acción. Alrumiah et al (2020), explica que las ondas cerebrales son el componente principal del sistema interfaz cerebro-computadora. El procesamiento del sistema comienza con la adquisición de señales cerebrales, procesando estas señales y luego ejecuta una acción específica. La Figura 4 da a conocer la estructura de cualquier sistema ICC en el que las señales cerebrales son detectadas por los electrodos en el cuero cabelludo, el cráneo o dentro del cerebro humano, y se procesan para extraer las características deseadas que se consideran las intenciones del usuario.

Primero se realiza el proceso de adquisición de señal del usuario o paciente, en el que mediante electrodos y un amplificador, se obtienen los datos para llevarlos a un convertidor A/D y ser almacenados. A continuación, el siguiente paso es el procesamiento de la señal, donde se busca cancelar los artefactos, extraer la información característica y relevante de la señal para finalmente ser traducida. El tercer paso es la aplicación con el dispositivo, en el cual se tiene al controlador del dispositivo mediante una interfaz de control o manejo para llevar a cabo los estímulos.

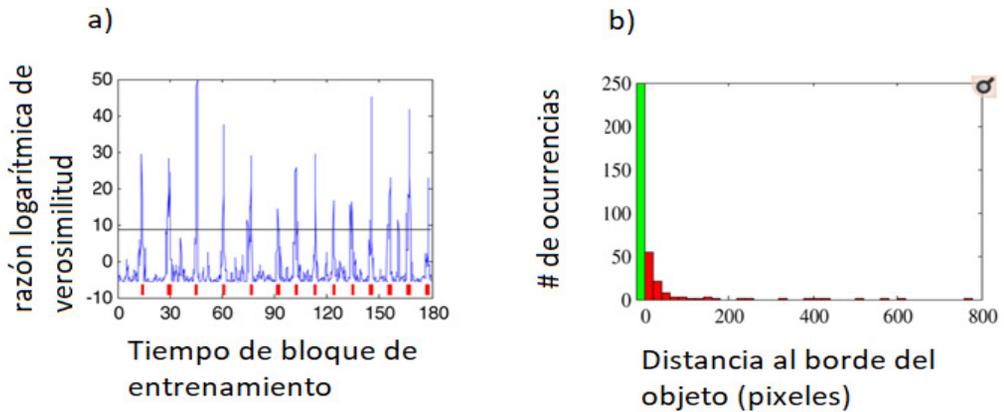
Figura 4. Estructura básica del sistema BCI o ICC



Fuente: Alrumiah et al, 2020

El estudio de seguimiento de Simeral et al (2011), se centró en la información crítica obtenida de un grupo de pacientes con implante de una matriz de microelectrodos intracorticales. El seguimiento se realizó en cinco días consecutivos, donde se hicieron ensayos a un paciente tetrapléjico, después de 1000 días de la implantación de una matriz de microelectrodos intracorticales, con los resultados de la Figura 5, se demostró que dicho sistema de interfaz neuronal puede proporcionar un control repetible y preciso de una interfaz de computadora.

Figura 5. a) Demostración de las pruebas de validación durante la construcción del filtro en el día 1000. b) Distribución de distancias entre el cursor neuronal y el borde del objetivo para todos los clics durante la tarea de evaluación.



Fuente: Simeral et al, 2011. (Traducido por las autoras)

Existen diversas clases de BCI en desarrollo que emplean diferentes sensores y algoritmos de decodificación (Martini et al., 2019). Las BCI intracorticales utilizan sensores que se implantan quirúrgicamente en la superficie cortical, permitiendo el acceso a neuronas individuales ricas en información y potenciales de campo locales sin degradación en el contenido de la señal debido al promedio espacial y al filtrado óseo presentes en enfoques no quirúrgicos (Brandman et al., 2017). Cualquier dispositivo médico implantado debe contar con un perfil de seguridad adecuado antes de su uso clínico. Esto garantiza que los pacientes, cuidadores y profesionales de la salud puedan tomar decisiones informadas sobre los riesgos y beneficios asociados.

En este contexto, se han realizado dos revisiones que abordan la seguridad de las BCI implantadas. Una de ellas se centra en conjuntos de electrodos de stent endovascular, informando principalmente sobre el rendimiento de los electrodos y las características estructurales del seno venoso implantado (Sauson Soldozy et al., 2020). La otra revisión incluye un análisis de conjuntos de microelectrodos intracorticales, incluyendo algunos datos inferidos de los participantes del ensayo BrainGate. Sin embargo, la única métrica de seguridad reportada fue la duración de la implantación del dispositivo, utilizada como marcador sustituto de los días sin complicaciones importantes (Bullard et al., 2020).

## Efectos del uso del IC

Al tener tantos avances realizados con respecto al implante cerebral, se tuvieron como resultados muchos beneficios posibles hacia las personas con enfermedades neurodegenerativas, problemas de parálisis parcial o total de las funciones musculares o incluso descubrimientos en el control dispositivos electrónicos mediante el pensamiento. Según Ramirez et al (2016), se ha descubierto que la estimulación subtalámica mediante implantes cerebrales ayuda al cerebro de las personas con Parkinson incluso 10 años después de que éste se haya realizado, asegura que los pacientes con este tipo de implante presentan una mejora en la función motora transcurrido este periodo de tiempo.

Los procedimientos quirúrgicos de las cirugías en un estado del paciente despierto y dormido dieron resultados que demostraron la precisión de la focalización de la colocación de los cables es confiable, además de un procedimiento seguro. No hubo diferencias significativas en los resultados clínicos, los costos o las complicaciones entre las técnicas (Wang et al., 2019).

La estimulación cerebral profunda del núcleo subtalámico es una técnica eficaz y segura en personas con Parkinson. Una organización sin fines de lucro (Parkinson's Foundation), dio a conocer los avances de recuperación de pacientes con Parkinson, afirmó que una de las posibles soluciones es el dispositivo médico operado por baterías, implantado quirúrgicamente llamado neuroestimulador, similar a un marcapasos cardíaco y de un tamaño similar al de un cronómetro, sirve para administrar estimulaciones eléctricas a áreas específicas del cerebro que controlan el movimiento, bloqueando las señales nerviosas anormales que causan temblores provocando la pérdida de control muscular (Parkinson's Foundation, 2021).

El Alzheimer es una enfermedad que implica la pérdida progresiva de las neuronas, teniendo como consecuencia que el sistema nervioso no pueda realizar su función con normalidad (Falgas Martínez, 2018).

Los ensayos clínicos de los dispositivos implantados en pacientes de la fase 2 realizados en The Barrow Center for Neuromodulation por Ponce (2016), dieron como resultado que el uso de la estimulación profunda cerebral en pacientes con Alzheimer es completamente seguro. Han indicado la posibilidad de ralentizar el deterioro cognitivo en algunos pacientes, e incluso se ha demostrado cambios metabólicos en el cerebro que puede demorar la progresión de la enfermedad.

Según Asaad et al (2016), hasta el día 90 del postoperatorio, no hubo evidencia de morbilidad neurológica permanente ni casos de mortalidad. Este ensayo sugirió que la estimulación profunda cerebral bilateral se puede realizar de forma segura y fue bien recibida por el grupo de pacientes. Quedó por evaluar la seguridad y eficacia de la estimulación eléctrica durante un año en el grupo de pacientes. La estimulación cerebral mediante los implantes cerebrales podría controlar los ataques de epilepsia, demencia e incluso la depresión.

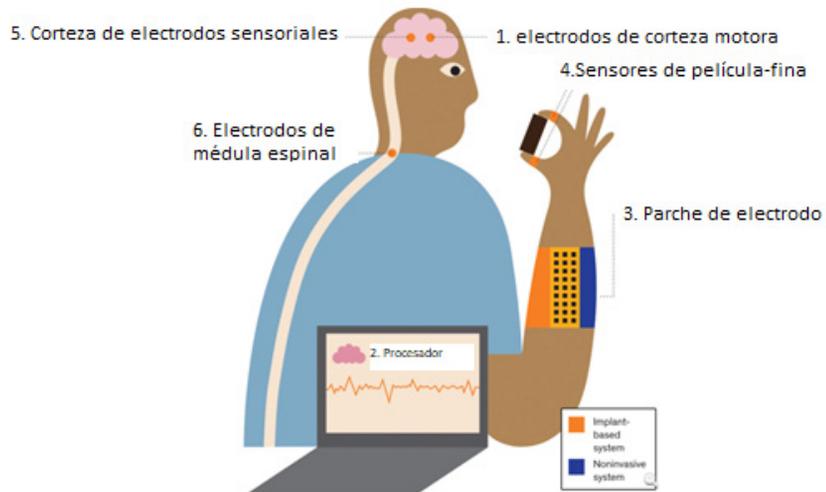
Una de las últimas investigaciones realizadas por Nikunj Bhagat, Santosh Chandrasekaran y Richard Ramdeo se basaron en implantes cerebrales para el control de alta fidelidad de las extremidades paralizadas. Bouton (2021), afirma que emplearon otro elemento tecnológico portátil no invasivo que proporciona un control menos preciso, pero tiene la ventaja de no requerir cirugía cerebral, además

que fue una de las primeras veces que una persona paralizada logró controlar sus propios músculos con un implante cerebral.

En la Figura 6, se ilustra el funcionamiento del implante, el cual capta las señales neuronales generadas por la persona (1). Estas señales cerebrales, inicialmente ruidosas, son posteriormente decodificadas por un procesador alimentado (2). A continuación, se envían instrucciones de estimulación nerviosa a un parche de electrodos (3) ubicado en el antebrazo del paciente.

Cuando la persona agarra un objeto, los sensores ubicados en la mano (4) registran la información sensorial. Todos los datos recopilados son enviados de vuelta a través del procesador, y las instrucciones de estimulación se transmiten a conjuntos de electrodos implantados en la corteza sensorial (5). Este paso permite a la persona sentir el objeto y ajustar su agarre según sea necesario.

Adicionalmente, otro conjunto de electrodos ubicados en la médula espinal (6) estimula los nervios espinales durante este proceso, con la esperanza de fomentar el recrecimiento y la reparación.



Fuente: Bouton, 2021. (Traducido por las autoras)

A pesar de la evolución con respecto a este tipo de implante, hay ciertas dificultades, tanto en materiales como en algunas consecuencias a largo plazo en el uso de estos dispositivos. Según Chen (2018), los implantes en el cerebro no son intrínsecamente peligrosos. La implantación no es dolorosa ya que no hay neuronas sensoriales en el cerebro, tampoco provoca enfermedades crónicas. Puede romper algunos vasos sanguíneos, pero estos vasos suelen tener tres o cuatro cabellos humanos de ancho, por lo que no causaría, un derrame cerebral. Tampoco afectaría a la capacidad cognitiva.

Una de las dificultades mencionadas por Bettinger (2018), es la vida útil del dispositivo, ya que simplemente no es muy práctico tener una cirugía elaborada y que ese dispositivo solo funcione unos pocos meses. Por eso, se está trabajando en

formas de extender la vida útil de estos dispositivos, además de tomar en cuenta las posibles reacciones que puede tener el cuerpo a ciertos materiales utilizados en el dispositivo.

Por otra parte; Martin (2019), afirma que uno de los efectos que tuvo uno de los pacientes con un implante cerebral, fue el cambio de personalidad, el caso de Neil Harbisson, es un claro ejemplo, ya que este paciente desarrolló una dependencia tan grande que no se considera completamente humano, es decir que sin el dispositivo entra en un estado de depresión por la dependencia del aparato. También se ha generado efectos secundarios debido a la estimulación profunda cerebral, donde se ha desarrollado una hipersexualidad, adicción al juego y otros comportamientos impulsivos. Otros pacientes afirman haber percibido alteraciones referentes a la percepción del 'yo'.

Según Drew (2019), Para los neuroéticos, surge una preocupación ante la inserción de un dispositivo de toma de decisiones en el cerebro de un individuo, planteando interrogantes sobre la continuidad de su autonomía, especialmente cuando estos sistemas de bucle cerrado incorporan cada vez más software de inteligencia artificial capaz de adaptarse de manera autónoma en sus operaciones. En situaciones como la de un dispositivo diseñado para monitorear la glucosa en sangre y controlar automáticamente la liberación de insulina para tratar la diabetes, la toma de decisiones en nombre del paciente no suscita controversias. No obstante, las intervenciones bien intencionadas en el cerebro no siempre son recibidas de manera positiva. Por ejemplo, una persona que utiliza un sistema de bucle cerrado para manejar un trastorno del estado de ánimo podría encontrarse incapaz de experimentar emociones negativas, incluso en situaciones consideradas normales, Es decir que, si cuentas con un dispositivo que constantemente interviene en tu pensamiento o toma de decisiones, podría comprometerte como agente, por lo que se encontró con el término "simbiosis radical". Moya y Peretó (2011), definen la simbiosis como un término, que significa una coexistencia íntima de dos especies para beneficio mutuo. De acuerdo con la fuente mencionada anteriormente, a medida que se trabaja para conectar el cerebro humano a las computadoras, se utiliza cada vez más para describir la relación potencial de los humanos con la inteligencia artificial. Fusionar tecnologías digitales con cerebros humanos puede tener efectos provocadores, sobre todo en el comportamiento de las personas.

### **Futuros avances respecto de los implantes cerebrales**

Las metas a futuro para la ampliación de los sentidos humanos de la NASA integran el desarrollo de tecnologías que permitan la construcción de una BCI que logre agrandar las habilidades de los sentidos. Se ha invertido mucho dinero para financiar la investigación del desarrollo de sistemas cerebro-máquina. El objeto de dichos proyectos es mantener el control de robots y aviones exclusivamente por medio del pensamiento (Lineberry, 2017). También existe una técnica que según Belandria (2019), ha sido probada en ratones, esta podría ayudar a detectar anticipadamente enfermedades cerebrales como el Parkinson o el Alzheimer. Un grupo de investigadores del Instituto Avanzado de Ciencia y Tecnología de Corea (KAIST), la Universidad de Colorado en Boulder (Estados Unidos), ha creado un dispositivo que puede manipular los circuitos neuronales utilizando un pequeño implante cerebral controlado por un teléfono inteligente.

Elon Musk anunció avances sobre el implante cerebral que está desarrollando, este prototipo permitiría conectar la mente con un ordenador, entre algunos de sus avances se tiene el prototipo probado en un chanco. Song (2020), da a conocer que la conexión es realizada a través de bluetooth, este dispositivo fue probado por dos meses en cerdos y se observó que el implante era capaz de leer sus pensamientos mientras jugaba, entrenaba y dormía, en el futuro se planea utilizar tecnología inalámbrica que permita aumentar la transferencia de datos. De la misma forma, otra prueba tuvo como objeto de estudio a un mono. Ranchal (2021), afirma que el mono cuenta con un implante inalámbrico en el cráneo con el que puede jugar videojuegos con la mente. Sin un controlador al que agarrarse, el cerebro del mono envía los impulsos con la intención de mover la pala de Pong de forma manual y el implante hace el resto para hacer de puente.

Además, Dong Song investigador de la Universidad del Sur de California desarrolló el dispositivo que integra un software programado con un neurocódigo identificado y desarrollado a partir del análisis y estudio de las señales cerebrales (Barral, 2017). El implante cerebral genera impulsos que replican el patrón de un cerebro normal, constituyendo una especie de by pass cerebral para sortear la región dañada. El mismo ya fue probado en humanos, pacientes que poseían electrodos implantados en el cerebro como parte de un tratamiento para la epilepsia. Hamzelou (2017), anuncia que el implante había estimulado tanto a los pacientes que, la capacidad de recordar momentos a corto plazo mejoró en más de un 15%. Mientras que la memoria operativa registró un aumento de más de 25%.

## CONCLUSIONES

A partir del desarrollo de la investigación, se ha concluido que el implante cerebral es un avance tecnológico que podría cambiar la vida de muchas personas, tanto como para personas con pérdida de función muscular, o personas que sufren con Parkinson, Alzheimer e incluso pacientes con depresión. Con toda la información obtenida, se estableció que los avances iniciaron alrededor del año 2000, donde se vieron las primeras interfases entre el cerebro y la computadora, generando estímulos que permitieron el control de un cursor. Todos los procedimientos dieron a entender que había la posibilidad de la creación de un puente entre el cerebro y la computadora, permitiendo una conexión que a futuro podría ser beneficiosa para muchas personas.

En cuanto a la clasificación de implante cerebrales; se analizó dos tipos, los implantes receptores que tiene como finalidad obtener y transmitir información de la actividad cerebral, e implantes estimuladores que transmiten toda la información mediante impulsos eléctricos que llegan el tejido encefálico. Esta clasificación tiene aplicaciones que se están utilizando en diversos ámbitos, permitiendo recuperar la esperanza de una cura para padecimientos que, en algunos casos, son de pronóstico poco alentadores. Se dieron a conocer los avances realizados en los últimos años; Siendo la mayoría creación necesaria de una matriz cerebro-computadora o también conocida como ICC.

Muchas investigaciones tuvieron resultados óptimos, tanto en el funcionamiento del implante como la implementación de este en otros organismos y seres humanos. En el caso de la enfermedad de Parkinson, un estudio dio a conocer que al administrar estimulaciones eléctricas a áreas específicas del cerebro que

controlan el movimiento, se logra bloquear las señales nerviosas anormales que causan temblores. Así mismo en el Alzheimer, el dispositivo dio indicios de la posibilidad de disminuir el deterioro cognitivo en algunos pacientes, ralentizado la pérdida de memoria. En casos de parálisis, estudios lograron que una persona con vuelva a tener control de su brazo después de 20 años, logrando levantar un vaso de agua. En las pruebas preliminares en animales, un mono fue capaz de tener control de un cursor de computadora mediante el pensamiento.

A pesar de los buenos resultados en la presente revisión bibliográfica, se detectaron algunas dificultades al realizar los implantes cerebrales, por ejemplo, la búsqueda de un material adecuado aún sigue siendo un tema estudiado por los científicos. Otros aspectos que se tomaron en cuenta fueron las pruebas realizadas, algunos pacientes sufrieron ciertas alteraciones emocionales después de colocar el implante. Es decir, hubo pacientes con cambios de personalidades, otros presentaron un estado de depresión por la dependencia del aparato y también se ha generado efectos secundarios, donde se ha desarrollado una hipersexualidad, adicción al juego y otros comportamientos impulsivos, incluso hay pacientes que afirman haber percibido alteraciones referentes a la percepción del 'yo'.

Todos estos efectos fueron analizados y se concluyó que, a pesar de las dificultades, el implante sería de ayuda para muchas personas alrededor del mundo, iniciando un estudio en Bolivia respecto al tema traería muchos avances en la medicina y el estudio de un órgano tan complejo como lo es el cerebro. En las investigaciones a futuro, se busca mantener el control de robots y aviones exclusivamente por medio del pensamiento, también se está creando un prototipo que permitiría conectar la mente con un ordenador para que pueda ser controlada mediante el pensamiento. De la misma manera se está diseñando un implante que genera impulsos donde se replica el modelo de un cerebro normal, creando una especie de by pass cerebral para eludir la región dañada.

## Bibliografía

Albright, T. D., Kandel, E. R., & Posner, M. I. (2000). *Cognitive Neuroscience*. doi: [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(00\)00132-X](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(00)00132-X).

Alrumiah S. S, Alhajjaj L. A, Alshobaili J. F, Ibrahim DM Una revisión sobre la interfaz cerebro-computadora (BCI) Spellers: P300 Speller. *Biosc.Biotech.Res. Comm.* 2020; 13 (3).

Asaad, W., Foote, K., Anderson, W., Beasley, K., Reymers, D., & Ponce, F. (2016). Estimulación cerebral profunda bilateral del fórnix para la enfermedad de Alzheimer: seguridad quirúrgica en el ensayo ADvance. *Journal of Neurosurgery*, 125(1), 1-238.

Barral, M. (5 de diciembre de 2017). Heraldo. Obtenido de Heraldo: <https://www.heraldo.es/noticias/sociedad/2017/12/05/implantes-cerebrales-para-ampliar-capacidades-1212001-310.html?autoref=true>

Belandria, S. (23 de agosto de 2019). El Ciudadano. Obtenido de El Ciudadano: <https://www.elciudadano.com/ciencia-tecnologia/cientificos-crean-un-dispositivo-capaz-de-manipular-neuronas-cerebrales-desde-un-smartphone/08/13/>

Bettinger, C. (24 de mayo de 2018). Interfaces neuronales ultracompatibles basadas en hidrogel fabricadas mediante impresión por microtransferencia en fase acuosa. *Advanced functional materials*, 28(29), 180-. doi:10.1002/adfm.201801059.

Bouton, C. (9 de marzo de 2020). Fusionando la interfaz cerebro-computadora y las tecnologías de estimulación eléctrica funcional para la restauración del movimiento. Obtenido de Fusionando la interfaz cerebro-computadora y las tecnologías de estimulación eléctrica funcional para la restauración del movimiento: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444639349000226>

Bouton, C. (26 de enero de 2021). Los implantes cerebrales y los wearables permiten que las personas parálíticas se muevan de nuevo. Obtenido de Los implantes cerebrales y los wearables permiten que las personas parálíticas se muevan de nuevo: <https://spectrum.ieee.org/biomedical/bionics/brain-implants-and-wearables-let-paralyzed-people-move-again>

Brandman, D. M., Cash, S. S., & Hochberg, L. R. (2017). Review: Human Intracortical Recording and Neural Decoding for Brain-Computer Interfaces. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 25(10), 1687–1696. <https://doi.org/10.1109/tnsre.2017.2677443>

Bullard, A. J., Hutchison, B. C., Lee, J., Chestek, C. A., & Patil, P. G. (2020). Estimating Risk for Future Intracranial, Fully Implanted, Modular Neuroprosthetic Systems: A Systematic Review of Hardware Complications in Clinical Deep Brain Stimulation and Experimental Human Intracortical Arrays. *Neuromodulation: Technology at the Neural Interface*, 23(4), 411–426. <https://doi.org/10.1111/ner.13069>

Carey, B. (10 de febrero de 2018). The New York Times. Recuperado el abril de 2021, de The New York Times: <https://www.nytimes.com/es/2018/02/10/espanol/implante-cerebral-memoria-mejorar.html>

- Chen, Á. (30 de mayo de 2018). El objetivo final es el implante que dura para siempre. Obtenido de El objetivo final es el implante que dura para siempre: <https://www.theverge.com/2018/5/30/17408852/brain-implant-materials-neuroscience-health-chris-bettinger>
- Corralejo, R. (2012). Brain-computer interface (BCI) aplicado al entrenamiento cognitivo y control domótico para prevenir los efectos del envejecimiento. Obtenido de Brain-computer interface (BCI) aplicado al entrenamiento cognitivo y control domótico para prevenir los efectos del envejecimiento: [http://www.fgcsic.es/lychnos/es\\_ES/articulos/Brain-Computer-Interface-aplicado-al-entrenamiento-cognitivo](http://www.fgcsic.es/lychnos/es_ES/articulos/Brain-Computer-Interface-aplicado-al-entrenamiento-cognitivo)
- Drew, L. (25 de julio de 2019). Technologies that integrate the brain with computers have been helping people for decades. *The brain outlook*, 571(1), 19-21. Obtenido de <https://media.nature.com/original/magazine-assets/d41586-019-02214-2/d41586-019-02214-2.pdf>
- Falgas Martínez, N. (9 de abril de 2018). Alzheimer. Obtenido de Alzheimer: <https://www.clinicbarcelona.org/asistencia/enfermedades/alzheimer/definicion>
- Granados, A. (21 de noviembre de 2015). Computerworld university. Recuperado el abril de 2021, de Computerworld university: <https://www.computerworlduniversity.es/actualidad/ensayo-de-implante-cerebral-en-caltech-permite-mover-un-brazo-mecanico>
- Hamzelou, J. (13 de noviembre de 2017). New scientist. Obtenido de New scientist: <https://www.newscientist.com/article/2153034-brain-implant-boosts-human-memory-by-mimicking-how-we-learn/>
- Horgan, J. (2005). The bionic age begins. *Discover magazine*, 110(13), 36-37.
- Hornero Sánchez, R. (2013). Aplicación de sistemas BCI al entrenamiento cognitivo y al control domótico para prevenir los efectos del envejecimiento. *Clinica*, 5(1), 2-3.
- Institut Guttmann. (2 de octubre de 2018). Innovación clínica en neurorrehabilitación. Obtenido de Innovación Clínica en neurorrehabilitación: <http://www.guttmanninnova.com/procedimientos-clinicos-avanzados/neuroprotesis/que-son-las-neuroprotesis.html>
- Lineberry, D. (2017). Neuronas en el trabajo. Obtenido de Neuronas en el trabajo: [https://www.nasa.gov/centers/langley/news/researchernews/rn\\_BCI.html](https://www.nasa.gov/centers/langley/news/researchernews/rn_BCI.html)
- Maguire, G., & McGee, E. (2010). Chips cerebrales implantables: *Revista de humanidades*, 20(2), 134-137.
- Marqués, F. L. (14 de enero de 2021). <https://clinic-cloud.com/blog/origen-de-la-medicina-principales-avances-medicos/>. Obtenido de <https://clinic-cloud.com/blog/origen-de-la-medicina-principales-avances-medicos/>
- Marte, H. (20 de septiembre de 2019). Implantes cerebrales: El futuro de la BCI. Obtenido de Implantes cerebrales: El futuro de la BCI: <https://neuro-class.com/implantes-cerebrales-el-futuro-de-las-bci/c>

Martín, B. (30 de octubre de 2019). Los extraordinarios cambios de personalidad causados por implantes cerebrales. Obtenido de Los extraordinarios cambios de personalidad causados por implantes cerebrales: <https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/biociencias/los-extraordinarios-cambios-de-personalidad-causados-por-implantes-cerebrales/>

Martini, M. L., Oermann, E. K., Opie, N. L., Panov, F., Oxley, T. J., & Yaeger, K. (2019). Sensor Modalities for Brain-Computer Interface Technology: A Comprehensive Literature Review. *Neurosurgery*, 86(2), E108–E117. <https://doi.org/10.1093/neuros/nyz286>

Moreno, I., Batista, E., Serracín, S., Moreno, R., Gómez, L., & Boya, C. (2019). Los sistemas de interfaz cerebro-computadora basado en EEG: características y aplicaciones. *Revista Académica UTP*, 12(4), 13-14.

Moya, A., & Peretó, J. (2011). Simbiosis: Seres que evolucionan juntos. Obtenido de <https://www.casadellibro.com/libro-simbiosis-seres-que-evolucionan-juntos/9788497567343/1838536>

Muccio, P. (marzo de 2005). Neuroprosthetics: The next generation of o&p services. Obtenido de Neuroprosthetics: The next generation of o&p services: [https://opedge.com/Articles/ViewArticle/2005-03-01/2005-03\\_06?spanish=True](https://opedge.com/Articles/ViewArticle/2005-03-01/2005-03_06?spanish=True)

Musk, E. (2019). Future and healthcare. Obtenido de Future and healthcare: <https://www.future-healthcare.ec/es/insights/85-implantes-cerebrales-el-futuro-de-la-interfaz-hombre-maquina.html>

Naufel, S., & Klein, E. (2020). Perspectivas de los investigadores de la interfaz cerebro-computadora (BCI) sobre la propiedad y privacidad de los datos neuronales. *Journal of Neural Engineering*, 12(9)16-21.

Nicolelis, M., Doherty, J., Fitzsimmons, N., & Hanson, T. (1 de septiembre de 2009). A brain-machine interface instructed by direct intracortical. *Intrigrative neuroscience*, 3(20), 1-3. doi:10.3389/neuro.07.020.2009

Parkinson's Foundation. (2021). Parkinson's Foundation. Obtenido de Parkinson's Foundation: <https://www.parkinson.org/Understanding-Parkinsons/Treatment/Surgical-Treatment-Options/Deep-Brain-Stimulation#:~:text=Uses%20a%20surgically%20implanted%2C%20battery,cause%20tremor%20and%20PD%20symptoms.>

Pastor, J. (9 de enero de 2015). Xacata. Recuperado el abril de 2021, de Xacata: <https://www.xataka.com/investigacion/los-implantes-cerebrales-podran-ser-mas-duraderos-gracias-a-estos-electrodos-elasticos>

Ponce, F. (11 de marzo de 2016). El implante electrónico estimula el cerebro de los pacientes con Alzheimer. Obtenido de El implante electrónico estimula el cerebro de los pacientes con Alzheimer: <https://www.salud.carlosslim.org/english2/electronic-implant-stimulates-brain-of-alzheimers-patients/>

Ramirez, A., Martinez, D., & Rodríguez, M. (2016). Estimulación cerebral profunda: Hacia la generación de los dispositivos “inteligentes”. *Revista Mexicana de Neurociencia*, 17(4), 67-97.

Ramos-Argüelles, F., Morales, G., Egozcue, S., Pabón, R., & Alonso, M. (2009). Técnicas básicas de electroencefalografía: principios y aplicaciones clínicas. Obtenido de Técnicas básicas de electroencefalografía: principios y aplicaciones clínicas: [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1137-66272009000600006](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272009000600006)

Ranchal, J. (2 de febrero de 2021). Mcpro. Obtenido de Muy computer pro: <https://www.muycomputerpro.com/2021/02/02/neuralink-cerebro-computadora>

Sejnowski, T. J., Koch, C., & Churchland, P. S. (1988). Neurociencia Computacional. *Science*, 29(10), 1299-1306.

Simeral, J., Kim, S., Black, M., Donoghue, J., & Hochberg, L. (2011). Control neuronal de la trayectoria del cursor y clic por un humano con tetraplejía 1000 días después del implante de una matriz de microelectrodos intracorticales. *Journal of Neural Engineering*, 28(15), 25-27.

Song, A. (30 de agosto de 2020). La Voz de Galicia. Obtenido de La Voz de Galicia: <https://www.lavozdegalicia.es/noticia/cultura/2020/08/29/elon-musk-anuncia-avances-sobre-implante-cerebral/00031598720455738842443.htm#:~:text=El%20implante%20cerebral%20que%20permitir%C3%ADa,futuro%20cada%20vez%20m%C3%A1s%20cercano.>

Tirapu Ustárrro, J. (2024). Neuropsicología - neurociencia y las ciencias “Psi”. *Periódico Electrónico en Psicología*, págs. 11-24.