



Implante de electrodos en el cerebro para recuperar la movilidad y la comunicación tras una parálisis cerebral severa

Implantation of electrodes in the brain to recover mobility and communication after severe cerebral palsy

Magensy Lema.est.¹

Michelle Loja.est.²

Mario Muñoz.est.³

Claudia Clavijo. Dra.⁴

¹Universidad Católica de Cuenca, Email: magensylema27@gmail.com, Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4361-6254>

²Universidad Católica de Cuenca, michiverdugo3012@hotmail.com, Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4354-9864>

³Universidad Católica de Cuenca, memunoz10@hotmail.com, Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8690-3494>

⁴Universidad Católica de Cuenca, claudia.clavijo@ucacue.edu.ec, Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8426-0904>

Contacto: magensylema27@gmail.com

Recibido: 07-12-2022

Aprobado: 09-05-2023

Resumen

Introducción: la parálisis cerebral no se considera un trastorno degenerativo, ya que esta no disminuye ni incrementa, es decir, se mantiene en el estado que se presenta la patología, para intentar revertir las anomalías motoras que presenta una persona se ha implementado un método

quirúrgico el cual consiste en el implante de electrodos los mismos que son capaces de revertir cierta parálisis, generando una actividad motora y a la vez permiten que el paciente pueda comunicarse, todo esto gracias a los estímulos que proporcionan los implantes de microelectrodos. Objetivo: conocer cuál es la función de los

electrodos luego de su implante en el cerebro ante una parálisis severa. Métodos: se realizó una búsqueda de artículos en las principales bases de datos científicas tales como Pubmed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, con la implementación de operadores booleanos para lograr una búsqueda específica sobre el tema central. Resultados: se identificó como se realiza el procedimiento quirúrgico para llevar a cabo el implante de electrodos en el cerebro, así también se conoció las funciones que estos van a tener en la corteza motora y el desempeño que desarrollan en el SNC. Conclusión: los implantes cerebrales nos ayudan a ver los avances que mantiene la tecnología en el ámbito de la medicina, sin embargo, los métodos utilizados para recuperar la movilidad de una persona suelen ser invasivos, a pesar de ello esto demuestra una esperanza para quienes padecen de una parálisis cerebral.

Palabras clave: Parálisis, Electrodo, Movilidad, Comunicación, Avances Invasivos

Abstract

Introduction: cerebral palsy is not considered a degenerative disorder, since it does not decrease or increase, that is, it remains in the state that the pathology

presents, to try to reverse the motor abnormalities that a person presents, a surgical method has been implemented, which consists of implanting electrodes, which are capable of reversing certain paralysis, generating motor activity and at the same time allowing the patient to communicate, all thanks to the stimuli provided by microelectrode implants. Objective: to know the function of the electrodes after their implantation in the brain in the event of severe paralysis. Methods: a search of articles was carried out in the main scientific databases such as Pubmed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, with the implementation of Boolean operators to achieve a specific search on the central theme. Results: it was identified how the surgical procedure is carried out to carry out the implantation of electrodes in the brain, as well as the functions that these will have in the motor cortex and the performance that they develop in the SNC. Conclusion: brain implants help us to see the advances that technology maintains in the field of medicine, however, the methods used to recover the mobility of a person are usually invasive, despite this, this shows hope for those who suffer from it. of cerebral palsy.

Keywords: Paralysis, Electrodes, Mobility, Communication, Progress Invasive

Introducción

La parálisis es una patología que se presenta en niños y adultos, generando un desequilibrio en la motricidad del cuerpo deteriorando diversas funciones como el movimiento y comunicación siendo estas la más afectadas. La presente revisión bibliográfica tiene como finalidad dar a conocer cómo se realiza el implante de electrodos en el cerebro mediante una cirugía, dicho procedimiento se lleva a cabo con el paciente sumergido en anestesia superficial, con el propósito de conocer los estímulos eléctricos que tiene el paciente luego de realizado el implante, además de ello es necesario fijar una zona específica en donde serán puestos los electrodos para lograr cubrir la zona motora del cerebro.

Los microelectrodos conectados al cerebro son capaces de realizar interconexiones neuronales permitiendo el envío de información a los implantes realizados en donde se podrá apreciar el inicio de una acción motora, al igual que lograr mantener un cierto grado de conversación gracias a la inteligencia artificial que proporcionan los electrodos. Es importante señalar que en presencia de una

parálisis severa o moderada existirá afección en el tono muscular y postura del paciente, provocando movimientos involuntarios, para revertir estas afecciones el BCI a implantado el dispositivo interfaz cerebro-computador el mismo que pretende ser de gran utilidad para el mundo médico, siendo aquí donde se pueda observar las modulaciones neuronales dadas por los electrodos.

Métodos

Para la siguiente revisión bibliográfica se realizó una búsqueda de artículos en las principales bases de datos, tales como Scopus, ScienceDirect, Pubmed, Web of Science, con la utilización de palabras tales como parálisis, electrodos, implantes. También se consideraron operadores booleanos como “NOT”, “OR”, “AND” con la finalidad de obtener una búsqueda más específica sobre el tema a tratar combinando las palabras “electrodos OR implantes cerebrales”.

Además de ello se tomaron en cuenta los criterios de exclusión e inclusión, siendo aquí donde se pudo seleccionar los artículos de utilidad para el presente trabajo, el principal criterio tomado en cuenta fue el año de publicación, el mismo que debería encontrarse dentro de los últimos 5 años, es decir, desde el 1 de

enero del 2018 al 30 de diciembre del 2022, ya que es el rango de tiempo donde se encuentran documentos con información actual sobre el tema tratado.

Resultados

Parálisis se define como una discapacidad motora, la misma que genera un desequilibrio irreversible y con gran persistencia en la vida del paciente, generalmente afecta el movimiento, habla, postura y tono de la persona, no es considerada como un trastorno degenerativo; es decir, no disminuye o incrementa. También llega a afectar funciones como el razonamiento y memoria, la lesión cerebral puede darse después o durante el nacimiento, existiendo un daño en la corteza motora del cerebro (1)(2).

Implante de electrodos / BCI

Los implantes de electrodos en el cerebro son una manera quirúrgica en la cual el encéfalo tendrá como finalidad interpretar señales eléctricas que son dadas por la sinapsis existente en las neuronas, con la finalidad de que se dé una conexión neuronal directa. Para realizar el implante de estos electrodos se debe realizar una tomografía antes de la cirugía, con la finalidad de obtener un plano milimétrico

para poder determinar los marcadores exactos donde se realizará el implante (3). Luego de esto también se lleva a cabo una resonancia cerebral, con el fin de observar correctamente la anatomía de nuestro paciente, estos procesos permitirán que los electrodos cerebrales mantengan una adecuada trayectoria la misma que será observada en el software de planeación estereotáctica de gran exactitud, tras ver el punto de entrada en el cerebro se hallarán los puntos quirúrgicos bilaterales. La entrada de los electrodos cerebrales debe ser específicos para la zona pre coronal, esto para lograr cubrir el área motora del cerebro (3).

Para este implante se toma en cuenta el arco estereotaxia RIECHERT-MUNDINGER, el cual sirve como guía para ubicar los electrodos cerebrales en el blanco quirúrgico considerado previamente, se realiza una pequeña incisión en la piel con el fin de introducir entre 5 o 3 microelectrodos, posicionándose 10mm antes de ubicarse a la zona cerebral seleccionada, esto previo realizar pequeños agujeros de trépano bifrontales. Este procedimiento se lleva a cabo con el paciente despierto manteniéndolo en una sedación moderada o superficial, con el objetivo de poder

encontrar el punto específico del blanco seleccionado, ya que de esta manera se puede detectar la actividad eléctrica que mantiene el paciente, esto mediante el software de micro registro que permite conocer la posición y el desempeño que realizan los electrodos (3).

Luego de que se hayan posicionado adecuadamente los electrodos se realiza una estimulación eléctrica para determinar la reacción del paciente, si los efectos obtenidos son positivos los electrodos son fijados al cráneo y a sus terminales distales del punto de entrada inicial, esto para reducir la posibilidad de tener efectos adversos.

Posteriormente en la porción distal extracraneal los dispositivos implantados son conectados a un generador de pulso bicameral con el fin de restaurar y potenciar las reacciones que mantiene el SNC. La BCI mantiene el registro de esta actividad dada por los electrodos para conocer la respuesta que genera la corteza motora, teniendo como objetivo principal conocer los trastornos que intervienen en la afección de la movilidad del cuerpo.

Tipos de BCI

Los tipos de interfaces entre el cerebro y computadoras van a depender del tipo de electrodos:

Interfaz Invasiva: aquí se recepta información rápida a través de las señales que contienen una relación directa con el ruido, debido a que los electrodos se encuentran directamente en el cerebro, para lograrlo se necesita una cirugía previa de implante, para registrar la información intracraneal del paciente.

Interfaz no invasiva: aquí se lleva a cabo la utilización de electrodos registrados en un electroencefalograma, midiendo la actividad cerebral sin necesidad de introducirse en la corteza.

Interfaces semi-invasivas: los electrodos son implantados en la superficie del cerebro por medio de cirugía, manteniendo señales débiles que no permiten extraer información concreta sobre la actividad cerebral.

Para que se dé un adecuado funcionamiento del BCI se necesita conocer como este se encuentra conformado (Tabla 1).

Partes de los Bci

Sensor	Motor	Aplicación
--------	-------	------------



Permite registrar la actividad que realiza el cerebro tras un implante de electrodos Favorece al procesar la señal y la decodifica para lograr entender lo que el paciente desea expresar Esta indica la interacción que mantiene la persona con el entorno (4).

Tabla 1: Partes que conforman un BCI

Como los electrodos ayudan en la comunicación

Según un estudio publicado en Nature el martes 22 de marzo del 2022 revela que un grupo de científicos han conseguido que un paciente con un estado de parálisis total e incapaz de conversar logre volver a comunicarse gracias a un sistema de inteligencia artificial, es decir se trata de un dispositivo interfaz cerebro-computador BCI de retroalimentación auditiva el mismo que consiste en dos dispositivos de microelectrodos que fueron implantados de manera intracortical en la corteza motora del paciente, ya que esa área del cerebro es la que controla los movimientos (5).

Se trata de unos dispositivos muy pequeños de aproximadamente 3 mm cada uno con 64 agujas que son los electrodos, los mismos que envían las señales a un ordenador que gracias a Machine Learning lo que hace es interpretar esas señales cerebrales entre “sí” o “no”, es decir el instrumento de inteligencia artificial

"mapea" las señales para proporcionarles un significado de "sí o no", y para interpretar lo que los pacientes pretenden comunicar, de modo que el programa de ortografía emite las letras del alfabeto en voz alta, es decir se le va diciendo cada letra y observando las reacciones cerebrales se puede determinar que letra quiere decir el paciente, de manera que es un proceso complejo que tarda aproximadamente un minuto por cada letra que se quiere transmitir, pero permite que esta persona se pueda comunicar.

Sin embargo, se conoce que al implantar un dispositivo directamente en el cerebro sufre algún riesgo de sangrado, pero este está diseñado para reducirlo con microfilamentos muy pequeños, en grupos pequeños de neuronas instauradas con una pequeña aguja, asimismo como cada cable se implanta de forma individual, el robot no permitirá que exista algún tipo de daño en los vasos sanguíneos de la superficie del cerebro.

De manera que gracias a la neurocirugía se instalan implantes en el cerebro

capacitados para conectar miles de neuronas, registrando así su actividad. A continuación, la información alcanzada de las neuronas y su actividad se demuestra en tiempo real mediante un proceso digital. Esta interpretación permite enviar nuevos datos al implante, que a su vez envía señales eléctricas para estimular algunas neuronas previamente identificadas. Estos estímulos del implante permiten que el cerebro inicie una acción motora con la capacidad de controlar una máquina, computadora o incluso un dispositivo móvil.

Es importante destacar, que perennemente existen riesgos asociados con la anestesia general, pero con este nuevo implante se tiene la esperanza de disminuir el tiempo de cirugía o incluso eliminar completamente el uso de la anestesia, es decir se pretende utilizar un robot neuroquirúrgico, el mismo que será el responsable de la inserción precisa y eficaz de electrodos a través de pequeños orificios en el cráneo con un diámetro aproximado de hasta 23 milímetros. Al combinar este procedimiento con diversos avances en cirugía robótica, puede existir la posibilidad de eliminar la anestesia e instaurar el dispositivo bajo sedación sensata. De tal forma que, el uso de estos

implantes cerebrales podría ayudar a pacientes con algún grado de parálisis cerebral a recobrar cierta independencia motriz e incluso la capacidad de hablar y así poder comunicarse, sin embargo, a medida que va avanzando la tecnología, se manifiestan nuevas vías de comunicación cerebral, lo que va a permitir el acceso a un campo más desarrollado de información neuronal (6).

Como los BCI ayudan en la movilidad

El movimiento es controlado por el cerebro, pero para que este surja se debe llevar a cabo una planificación y coordinación; las partes que actúan en el movimiento son la corteza frontal y posterior de asociación, la cuál es la que planifica y ayuda a la percepción del movimiento, otra parte es la corteza motora, esta envía la información para que se produzca la acción, además controla el músculo, fuerza y trayectoria del movimiento; mientras que la corteza premotora interviene en cómo se realiza los movimientos, finalmente la área motora suplementaria prepara, inicia y vigila los movimientos (7).

Sin embargo, la parálisis afecta estos movimientos, además del tono muscular y de la postura de la persona, es por ello que quien padezca esta patología sufre un daño

en el cerebro, causando un deterioro en los movimientos relacionados con reflejos o la espasticidad tanto de las extremidades como del tronco, generando en sí posturas inusuales, marcha inestable, movimientos involuntarios, desequilibrio muscular, rigidez muscular y algunas veces no existe ningún tipo de movimiento.

El sistema de BCI convierte la modulación voluntaria de la actividad eléctrica neuronal en información útil para diferentes aplicaciones como de comunicación y de control, esto es conocido como señales de control y pueden ser exógeno o endógeno, el primero o denominado también reactivo requiere de un estímulo externo para que el cerebro pueda generar respuestas naturales; mientras que el BCI endógeno o también denominado activo se fundamentan en la autorregulación de la acción cerebral, es decir, no dependen de un estímulo externo, dentro de este tipo existen las imágenes motoras (MI-BCI) que ocupan señales de control tipo SMR, que se originan en la imaginación del movimiento, generando potenciales ERD y ERS; de manera que este requiere una retroalimentación de imaginación motora, esto con la finalidad de que la persona

aprenda a modular voluntariamente sus ritmos y potenciales cerebrales (7).

En la retroalimentación se deben estimular las áreas corticales del movimiento con métodos de observación de la acción y de sensación, es decir, la imaginación motora es requerida de manera virtual, para que el paciente pueda observar, de manera que estimula las neuronas espejo, generando una sensación de control motor sobre las acciones que genera la persona (7). Es por ello que esta interfaz cerebro computador consiente en la conexión entre el cerebro de una persona y un computador, pero dicha actividad eléctrica cerebral no requiere de una actividad motora como tal, ya que este sistema convierte esta actividad cerebral en comandos de control, de forma que procesa las características de interés para poder interaccionar con el entorno que el paciente dese (8).

Sin embargo, estos movimientos imaginarios (MI) o imaginación motora se trata de llevar a cabo un proceso mental de un movimiento de alguna parte del cuerpo, pero sin llevar a cabo un movimiento físico propiamente dicho. Es decir, los movimientos producidos por la corteza motora primaria (M1) en los 2 hemisferios los soporta el área premotora (PMA) lo que hace la realización de las imágenes

motoras sean posibles, por lo tanto, es acto imaginado de un movimiento motor, pero sin generar un movimiento muscular, lo que induce a activar el área motora suplementaria (SMA) para generar una actividad motora (7)(9).

Dentro de los MI existen dos tipos: los visuales, estos consisten en visualizar el movimiento a realizar, ya sea de manera interna o externa; mientras que el otro tipo son los kinestésicos que se trata de imaginar la sensación de realizar el movimiento y son internos.

Los movimientos reales (MR) con los imaginarios guardan relación, ya que las mismas áreas se activan en el M1, SMA y PMA; además los patrones de señales presentan la misma forma, pero no la misma amplitud, ya que los MI son más lentos y de menor amplitud a comparación de los MR, ya que los imaginarios presentan mayor dificultad, pero con ejercicios esta amplitud puede mejorarse o superar; sin embargo, los MI son los únicos que pueden activar ambos hemisferios a comparación que los MR solo activan el hemisferios contralateral, además los MI también generar en el paciente la sensación de mover su cuerpo lo que les produce gran satisfacción (10).

Recuperación de funciones motrices

Actualmente una de las técnicas para recuperar el funcionamiento parcial de una extremidad es con estimulación eléctrica muscular directa, esto se debe a la comunicación entre los implantes cerebrales ubicados en el control motriz del cerebro con un estimulador eléctrico en la piel de la extremidad, de manera que así se puede contraer los músculos generando una acción en específico, la más estudiada la de cerrar el puño o de agarre. Sin embargo, caminar es una acción más compleja, por lo que necesita más contracciones musculares, pero Capogrosso desarrollaron una interfaz cerebro espinal, en donde se envían información desde la corteza motora a un receptor ubicado en la zona lumbar, generando una estimulación eléctrica espinal, pero este estudio se realizó en el año 2016 en macacos, pero sigue en estudio, de manera que la finalidad de este invento es que las personas con parálisis en un futuro vuelvan a tener movilidad (11).

Neuro prótesis

El BCI actualmente es utilizado con fines médicos, como en el uso de prótesis o sensores, una de las funciones es obtener señales del cerebro y convertirlas en ordenes que el BCI controle, uno de los logros de la medicina en la actualidad es

que este dispositivo logre un movimiento de las extremidades, es por lo que este sistema requiere un correcto procesamiento de señales cerebrales y un sistema que las analice de forma correcta y con los mínimos errores menos (12). Por lo tanto, restituir el movimiento es posible utilizando neuro prótesis ordenadas por simulaciones eléctricas (FES), esto compensa la pérdida de MR generando contracciones musculares artificiales por medio de impulsos eléctricos (13).

Las neuro prótesis se fundamentan en utilizar el BCI para controlar el movimiento tanto de una extremidad con órtesis como de una prótesis, todo esto con la finalidad de restaurar la movilidad en diferentes pacientes, en otros casos como amputaciones o tetrapléjicos se ocupa este sistema con brazos robóticos para generar el movimiento, mientras que en la parálisis utiliza ritmos sensoriales motores para controlar la FES, se ubican en los músculos de la manos, con el fin de restaurar la función motora y generar el movimiento de pinza en la mano.

De manera que el sistema BCI-FES presenta una reorganización neuronal combinada con un aprendizaje de movimiento, lo cual impulsa a una recuperación funcional y motricidad del

cerebro, ya que cuando se da un MI , se observa en un electro encefalograma (EEG) señales sobre el área que se desea mover, todo esto permite una sincronización entre el propósito y la activación de los músculos, además este sistema se aplica de la misma manera para las prótesis y neuro prótesis, que tienen la finalidad de reactivar la función motora del paciente (14).

Discusión

De acuerdo al objetivo planteado en este trabajo se seleccionaron los artículos que fueron de utilidad para la realización de este artículo, en el que los autores Mercedes y Cuestas concuerdan con la Confederación ASPACE en que la parálisis es un trastorno que involucra un daño a nivel de la postura, del tomo muscular, marcha, comunicación y movimiento de la persona, también teniendo en cuenta que se encuentra afectado el cerebro específicamente el corteza motora y premotora.

Según Morales, Bustos y colaboradores, Gil, Bullón expresan que los BCI es una interfaz cerebro computadora, que permite en algunas ocasiones generar señales cerebrales, mismas que pueden ser observadas en un EEG, dichas señales son procesadas y transformadas en control; de

manera que este invento se ha convertido una gran hazaña para la medicina, ya que es útil para devolver la comunicación y el movimiento en pacientes con daños en su motricidad o comunicación.

Sin embargo, el autor Gil resalta sobre los tipos de BCI, dentro de los que consta los sistemas invasivos, no invasivos y semi invasivos; mientras que Morales y Física describen los tipos de control del BCI, los cuales incluyen los sistemas exógenos que requieren un estímulo externo y los endógenos no lo necesitan, pero si deben ser entrenados.

En cuanto a la comunicación y la relación con los electrodos, León y Diestro mencionan que es comunicación es posible de acuerdo al sistema de BCI de ortografía, de manera que una persona con parálisis puede deletrear, ya que existen casos en que ya pueden deletrear, debido a que el BCI presentan letras que son reconocidas por el paciente de forma visual, de manera que por medio de un altavoz la persona puede comunicarse.

Mientras que los BCI relacionados con la movilidad, la mayoría de autores como Temperini, Volpi, Alvarado, Escobar y colaboradores concuerdan que la recuperación de la función motora es posible a través de las MI, que si bien no

existe un MR por medio de los músculos o las extremidades, si existe a nivel del cerebro, pero el MI puede ser tan real que genera la misma sensación y satisfacción que haber realizado uno real; sin embargo en el artículo de Temperini y Volpi, se pudo analizar que también este sistema puede ayudar a generar un MR a través de neuro prótesis o de prótesis robóticas con la finalidad de generar un movimiento, en el cual actualmente se ha logrado con el primero un agarre o el movimiento de pinza en la mano de una persona con deficiencia en su motricidad, mientras que Capogrosso este sistema lo realizó en macacos pero implanto estas interfaces a nivel de la medula, todo esto con la finalidad que este primate camine, haciendo este posible, pero actualmente esto todavía no se ha observado en humanos. Pero si dejando en claro que los BCI o los implantes de electrodos se han vuelto una alianza con la medicina, para generar una mejor calidad de vida para personas con patologías como parálisis o tetraplejias.

Conclusión

En conclusión, quienes nos abren las puertas a un mejor futuro para las BCI son los nuevos avances en la tecnología de implantes cerebrales y también la terapia

de estimulación cerebral directa. A pesar de ello, aún se presentan obstáculos muy notables, siendo el más significativo su carácter invasivo. Con respecto a su aplicación clínica, esta tecnología es más concreta y eficaz. Dicho esto, las posibilidades que existen no tienen comparación alguna con las metodologías no invasivas, asimismo, es más posible

que lleguen al público de manera cotidiana. Finalmente, se está pretendiendo minimizar el riesgo de realizar el proceso de inserción del IC, lo que presume ser un reto para los próximos años; de modo que todos estos progresos han devuelto la esperanza a numerosas personas de sanar enfermedades que en varios casos tienen mal pronóstico.

Referencias bibliográficas

1. Mercedes M, Cuestas E. LA CONSTRUCCIÓN DE LA DEFINICIÓN PARÁLISIS CEREBRAL: UN RECORRIDO HISTÓRICO HASTA LA ACTUALIDAD. Rev Fac Cienc Med Cordoba [Internet]. 2019;76(2):113–7. Available from: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/124997/CONICET_Digital_Nro.1cf934c4-785b-49f2-babc-d6e2f4930471_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
2. Confederación ASPACE. DESCUBRIENDO LA PARÁLISIS CEREBRAL. 2021; Available from: http://riberdis.cedid.es/bitstream/handle/11181/6239/Descubriendo_la_parálisis_cerebral.pdf?sequence=1&rd=0031794562449406
3. Escobar O, Orozco J, Ordoñez J. Precisión en implantación de electrodos para estimulación cerebral profunda para manejo de trastornos. Rev EIA. 2022;19(37):2–11.
4. Gil I. EL ROL DEL TERAPEUTA OCUPACIONAL EN EL USO DE LA INTERFAZ CEREBRO-COMPUTADORA PARA EL MANEJO DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS Y ORTOPROTÉSICOS. Univ Zaragoza [Internet]. 2019; Available from: <https://zaguan.unizar.es/record/88907/files/TAZ-TFG-2019-1121.pdf>
5. León V. Neurotecnología: el futuro. Rev Académica CUNZAC [Internet]. 2018;5(2):107–113. Available from: <https://revistacunzac.com/index.php/revista/article/view/77/136>
6. Diestro J. Estimulación cerebral profunda como tratamiento neurológico y evolución en el diseño de implantes. Univ Sevilla [Internet]. 2021; Available from:

<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/127080/TFG-3812-DIESTRO>

BARROSO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

7. Morales L. Modelo virtual de prótesis de mano controlada mediante señales EEG. 2022; Available from:

<https://repositorio.cinvestav.mx/bitstream/handle/cinvestav/4106/SSIT0019099.pdf?sequence=1>

8. Busto J, Martínez R, Giraldo J, González L. APLICACIÓN DEL CASCO NEURONAL EMOTIV EPOC Y VISUALIZACIÓN DE UN GRAFOELEMENTO DEL RITMO Mu (μ) EN PERSONAS CON PARALISIS CEREBRAL. EXPOTECH [Internet]. 2020;1–8. Available from:

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/memorias/article/view/4164/4163>

9. Agudo A. Nuevas tecnologías en neurorrehabilitación aplicadas al tratamiento del paciente con lesión medular. Med [Internet]. 2019;12(75):4437–45. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.med.2019.03.024>

10. BULLÓN E. CARACTERIZACIÓN DE LA SEÑAL ELECTROENCEFALOGRÁFICA EN MOVIMIENTOS IMAGINARIOS DE MANOS Y LENGUA. 2020; Available from:

[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/151638/Bullón Tarrasó - Caracterización de la señal electroencefalográfica en movimientos imaginarios de manos y lengua.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/151638/Bullón_Tarrasó_-_Caracterización_de_la_señal_electroencefalográfica_en_movimientos_imaginarios_de_manos_y_lengua.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

11. Capogrosso M, Milekovic T, Bortón D, Wagner F, Moraud E, Mignardot J-B, et al. Una interfaz cerebro-columna que alivia los déficits de la marcha después de una lesión de la médula espinal en primates. Nature [Internet]. 2016;paginas284–288. Available from: <https://www.nature.com/articles/nature20118>

12. ALVARADO J. EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS PARA LA DETECCIÓN DE MOVIMIENTOS DEL BRAZO USANDO SEÑALES DE ELECTROENCEFALOGRAMA (EEG). 2020; Available from: [http://54.213.100.250/bitstream/20.500.12590/16330/1/ALVARADO_CHAVEZ_JOR_EX T.pdf](http://54.213.100.250/bitstream/20.500.12590/16330/1/ALVARADO_CHAVEZ_JOR_EX_T.pdf)

13. Física V. DISEÑO, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA BRAIN COMPUTER INTERFACE (BCI) BASADO EN STEADY-STATE VISUAL EVOKED



POTENTIALS (SSVEPS). 2020; Available from:

<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/43262/TFG->

[G4447.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/43262/TFG-G4447.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

14. Temperini T, Volpi C. Implementación de Interfaz cerebro-computadora modalidad no invasiva en rehabilitación motriz de la extremidad superior de pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular durante el estadio crónico. UGR [Internet]. 2022; Available from: [https://rid.ugr.edu.ar/bitstream/handle/20.500.14125/274/Inv. D-116 MFN 7320 tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://rid.ugr.edu.ar/bitstream/handle/20.500.14125/274/Inv_D-116_MFN_7320_tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y)