

Efectividad en activación de dispositivo a voluntad mediante uso de interfaz cerebro computadora

Effectiveness in device activation at will using computer brain interface

Erick Antonio Ramos Sánchez
Universidad Internacional de Ciencia y Tecnología (UNICYT)
erick.ramos@unicyt.net

Resumen— Las interfaces cerebro computadora o BCI son sistemas basados en la integración de dispositivos telemáticos que convierten las señales eléctricas provenientes de la actividad cerebral en señales de control en tiempo real, estos permiten que individuos con o sin funcionalidad diversa puedan manifestar su voluntad sin hacer uso de su sistema nervioso periférico, es decir, que un individuo pueda actuar sobre un dispositivo mediante su intención o voluntad, a través de su pensamiento. El aspecto de interés de esta investigación se focaliza en la efectividad con la que una BCI es capaz de transformar la intención del individuo, manifiesta mediante su pensamiento, en una acción en el mundo exterior y así brindar información relevante para su aplicación. A diferencia de otras investigaciones en el área, esta investigación pretende encontrar una respuesta a una gran deuda que se tiene con la sociedad en general de acercar el uso de la tecnología a las personas con funcionalidad diversa, pero, incluyendo a las personas sanas. La metodología utilizada en esta investigación es ecléctica, compatible con los tipos de investigación documental, descriptiva y la experimental. Aunque esta es una investigación en desarrollo, sus resultados parciales demuestran no solamente que, si se puede, sino que la efectividad es un factor crítico que aún debe demostrarse. Esta investigación debe culminarse para demostrar que las interfaces actuales basadas en graficas pueden sustituirse por BCI para disminuir la brecha digital.

Palabras claves— BCI, Brecha digital, Efectividad, Funcionalidad diversa, Interfaz cerebro computadora, Pensamiento, Voluntad.

Abstract— Computer brain interfaces or BCI are systems based on the integration of telematic devices that convert electrical signals from brain activity into real-time control signals. These allow individuals with or without diverse functionality to manifest their will without making use of their peripheral nervous system, that means, that an individual can act on a device through his intention or will, through his thought. The interest aspect of this research focuses on the effectiveness with which an BCI is capable of transforming the individual's intention, manifests through his thinking, in an action in the outside world and thus provide relevant information for its application. Unlike other research in the area, this research aims to find a response to a great debt that technology has with society in general to bring the use of it to people with diverse functionality, but including healthy people. The methodology used in this research is eclectic, compatible with the types of documental, descriptive and experimental research. Although this is a developing research, its partial results demonstrate not only that, it can work, but that effectiveness is a critical factor that must still be demonstrated. This research should be completed to demonstrate that current graph-based interfaces can be replaced by BCI to bridge the digital gap.

Keywords— Digital gap, Effectiveness, Diverse functionality, Computer brain interface, Thought, Will.

1. Introducción

El objetivo general de esta investigación es comprobar la efectividad en la activación de un dispositivo a voluntad mediante el uso de una interfaz cerebro computadora (BCI). Por ello, los objetivos específicos incluyen: Determinar el estado del arte de los BCI a nivel mundial y a nivel regional; Diseñar un prototipo de sistema que permita la activación de un interruptor mediante la mera intención, en otras palabras, sin el uso del sistema nervioso periférico; Desarrollar un prototipo de sistema que permita la activación de un

interruptor mediante la mera intención. Desarrollar métodos y procedimientos para comprobar la efectividad del BCI; Comprobar mediante pruebas científicas la efectividad en la aplicación de una interfaz BCI en la activación de un interruptor.

Entre las investigaciones encontradas como antecedentes se citan en este informe aquellas que guardan alguna relación con los objetivos de esta investigación o con metodologías que pudieran servir de guía para el logro de los objetivos, en ese sentido se reseñan las siguientes:

En el año 2014, el investigador Cariño-Escobar público en las Memorias del Tercer Concurso de Investigación, Desarrollo e Innovación CEDIT 2014, de la Universidad La Salle, México un artículo sobre su investigación titulada: “Similitud de imaginación de movimiento con movimiento real como clasificador para sistemas de Interfaz Cerebro-Computadora”.

El objetivo de la investigación fue mejorar la exactitud en la clasificación de sistemas BCI usando la similitud de un movimiento real (MR) con la imaginación o intención de movimiento (IM) para clasificar entre IM de mano derecha e IM de mano izquierda.

Entonces, la metodología empleada por el investigador fue, para el procesamiento de la señal de EEG, aplicó un filtrado temporal de 1 a 30 Hz para incluir a la banda de frecuencias del ritmo mu (8-13 Hz) y beta (14-30 Hz). Después se aplicó un filtrado espacial tipo Laplaciano a los canales C3, Cz y C4. Finalmente se obtuvieron representaciones tiempo-frecuencia (RTF) con el método de transformada Wavelet (tipo Morlet) para cada uno de los 120 ensayos en cada tarea. El autor infiere que se debe de encontrar el intervalo de frecuencias y de tiempo en el cual puede discriminarse mejor entre dos tareas.

Como recomendación sobre los resultados de esta investigación se puede establecer que la similitud entre IM con MR podría representar un aumento en los porcentajes de clasificación del usuario de BCI.

- Ventaja: Puede ser confirmado si la persona realiza correctamente tareas de IM, por lo que se tiene la certeza de los datos de referencia para un clasificador son correctos.

- Desventaja: Se debe de encontrar el intervalo de frecuencias y de tiempo en el cual puede discriminarse mejor entre dos tareas.

Para el año 2013 los investigadores: García, Toccaceli y Spinelli, de la Universidad Nacional de la Plata en Argentina publicaron un artículo en el Informe de las Segundas Jornadas de Investigación y Transferencia 2013, de la Universidad de una investigación parcial (sin terminar) sobre una: “Interfaz Cerebro Computadora Embebida basada en Potenciales Evocados Visuales de Estado Estacionario”.

El propósito de esta publicación fue Presentar los resultados preliminares de la implantación de una interfaz cerebro computadora embebida (ICCE) basada

en potenciales evocados visuales de estado estacionario. El modelo de investigación es experimental y de campo y sus resultados parciales permiten inferir que se debe Continuar experimentando con la plataforma implementada probando distintas técnicas de clasificación tanto en el dominio del tiempo como la frecuencia con el objeto de alcanzar el estado del arte en cuanto a los tiempos de detección de comandos para ICC basada en SSVEP (entre 1 y 2 segundos aproximadamente).

La metodología de esta investigación, aunque distinta permite orienta ciertos parámetros a utilizar en las pruebas a desarrollar.

Por otra parte, en el año 2012, los estudiantes de Ingeniería en Biónica del Instituto Politécnico Nacional de México D.F. González, Tlacaclael y García, desarrollaron la investigación titulada: “Diseño y Construcción de un Prototipo de Interfaz Cerebro-Computador (ICC) para el control de un puntero indicador”. El propósito de esta investigación fue la del diseño y la construcción de un prototipo de una interfaz cerebro computador que sea capaz de determinar cuando el usuario tiene la intención de mover el miembro superior.

En cuanto a la metodología utilizada, los autores exponen que para la sincronización y desincronización de eventos se encontró que el mejor método es el de características espectrales a partir del algoritmo de Transformada Rápida de Fourier (FFT) y para la clasificación el método más utilizado es el de redes neuronales.

Con relación a las limitaciones de esta investigación, los investigadores desarrollaron experimentos en ambientes poco controlados, con lo cual la certidumbre obtenida fue del 23,5%, por su parte la efectividad obtenida fue del 40%, y obtuvieron un 56,32% de experimentos correctos.

Sobre los aportes de esta investigación a la presente, se pueden establecer las siguientes recomendaciones: En primer lugar, es importante que el usuario evite hacer movimientos durante la etapa de entrenamiento ya que el sistema es vulnerable a ruido generado por el movimiento del electrodo con la piel.

En segundo lugar, en cuanto a la colocación de electrodos en el cuero cabelludo se comprobó que la mejor opción es elaborar un arnés flexible en vez de una

diadema de audífono rígida por su mejor ajuste y el mejor contacto de los electrodos activos

Por otra parte, en el año 2012, el profesor Dr. Ron Angevin, catedrático de la Universidad de Málaga en España, publicó un artículo titulado: “Interfaz Cerebro-Computadora, Pensamientos al servicio de la comunicación”, con el objetivo de divulgar aspectos de las tecnologías asociadas a los sistemas BCI y su potencial en la mejora de la calidad de vida de las personas con importantes deficiencias en sus funciones motoras como producto de enfermedades y lesiones propias de los accidentes con traumatismos.

Este artículo presenta una excelente síntesis de bases teóricas basada en una metodología documental de la que esta investigación rescata además las siguientes recomendaciones: Primero, es necesario un adecuado entrenamiento que, en algunos casos, puede llegar a prolongarse durante meses, lo que puede provocar el abandono del aprendizaje y la desestimación en el manejo de estos sistemas.

Segundo, investigar sobre el desarrollo de modelos de entrenamiento basados en técnicas de biofeedback que garanticen una mayor motivación y facilidad de aprendizaje del control de las señales de electroencefalografía (EEG).

Por otro lado, en cuanto a la investigación objeto de este artículo, los beneficios de ésta son varios y tienen que ver con los beneficios de la ciencia, avanzar el conocimiento sobre una materia que está llamada a abarcar todos los sectores de la vida diaria, es decir el avance del conocimiento en un área de aplicación muy versátil. Por ejemplo, la determinación de la efectividad permitirá al sector gobierno decidir continuar invirtiendo en el estudio de estas tecnologías para desarrollar habilidades en ella para la sociedad del futuro, para el ciudadano del siglo XXI.

Es así como, si se demuestra la efectividad también el sector de educación podrá decidir continuar estudiando las consecuencias del uso de las interfaces BCI para alcanzar en los educandos competencias del siglo XXI.

Por otro lado, caso contrario, de no demostrarse la efectividad de dichas interfaces el sector gobierno podría ahorrarse la inversión en más estudios y focalizar sus esfuerzos en otras tecnologías. Así mismo, el sector gobierno se beneficia con esta investigación ya que la misma contribuye en la búsqueda de una solución efectiva contra el problema de la “Brecha Digital”,

problema que aísla y discrimina a una parte importante de la población.

Y es que, a pesar de que algunos indicadores como la “teledensidad” muestran un crecimiento mundial en la penetración de la tecnología en las sociedades, la “Brecha Digital” continúa siendo importante y su impacto sobre la población general y a la población con funcionalidad diversa en particular continúa siendo importante ya que a estos últimos no les basta con una interfaz gráfica para interactuar con la tecnología y requieren de otro tipo de respuesta al problema de su incorporación a la sociedad del conocimiento. Es por ello que los beneficiarios potenciales de esta investigación serán todos los miembros de la sociedad mundial en general.

El cerebro es el órgano principal del sistema nervioso humano, protegido por la cavidad ósea del cráneo, es un órgano en el que aún prevalecen en el campo de las ciencias grandes incertidumbres debido a su complejidad. Consecuentemente, el cerebro es el responsable de importantes funciones vitales como la percepción y es el órgano donde reside la mente y la conciencia del individuo.

Para muchos filósofos y psicólogos, la intencionalidad es el modo de ser de los hechos de conciencia por el que se tiene un conocimiento del mundo real y de su existencia, por su parte, según el Diccionario de la lengua española, en su edición electrónica del tricentenario, la “Intención” es la: “Determinación de la voluntad en orden a un fin”. En esta investigación la intención se manifiesta entre otras formas, como una señal eléctrica que puede ser capturada en la superficie del cráneo de un sujeto.

De acuerdo con Frescuet (2015), el origen de la detección de las señales eléctricas del cerebro se debe al científico y médico alemán Hans Berger quien se dedicó a la búsqueda de datos objetivos, al estudiar las bases científicas del funcionamiento cerebral. En 1902 registró la actividad eléctrica espontánea del cerebro en gatos y perros utilizando el electrómetro capilar de Lippmann.

Luego, afirma Frescuet, Berger revisó registros de variaciones de tensión y recogiendo nuevos datos de personas heridas y con lesiones en el cráneo, así como de individuos sanos, tomando lecturas de distintas partes y con diferentes tipos de electrodos, haciendo uso del galvanómetro Siemens de doble espiral y encontró dos tipos de ondas: las ondas alfa y las ondas beta. Los resultados fueron publicados en 1929.

Mediante el EEG se captan unas ondas, que son producidas por las neuronas del cerebro. Dichas ondas se identifican mediante alguna letra griega, según su frecuencia. La frecuencia está ligada a la velocidad de la aparición de las ondas, es el número de ondas en un segundo, y se mide en hertzios (Hz).

Las frecuencias del EEG se dividen en 4 grupos: las Delta, son las más lentas, con un ritmo de 1-3 ondas cada segundo; las Theta, de 4 a 7 ondas por segundo; las Alfa, de 8 a 12 ondas por segundo y las Beta, por encima de 12 ondas por segundo. Esto da lugar a que se identifiquen frecuencias lentas (Delta y Theta), la frecuencia Alfa y frecuencias rápidas (Beta). Ver figura N°1

Así mismo, otro aspecto de interés en esta investigación es la amplitud o el tamaño de las ondas, esta alcanza un rango de unos pocos microvoltios (μV) hasta 1 milivoltios. La actividad EEG cambia como una función de la edad, según la publicación electrónica de Neurofisiología de Málaga (2015) en los recién nacidos es desorganizada y con el envejecimiento se generan modificaciones, pero a partir de la infancia va adquiriendo su forma característica.

Consecuentemente es necesario reconocer que en los registros EEG convencionales aparecen los llamados "Artefactos", que son alteraciones que se deben a múltiples causas (movimientos musculares, oculares, respiración, pulso, electrodos, resistencia de la piel, sudor, problemas técnicos) y no significa que haya patología. Así lo explica la publicación electrónica de Neurofisiología de Málaga (2015). Ver la figura N°2

En la actualidad, los BCI son sistemas basados en la integración de dispositivos que convierten las señales eléctricas provenientes de la actividad cerebral en señales de control en tiempo real, Por lo general se integran con cuatro componentes fundamentales: un sistema de adquisición de señal; un módulo de procesamiento e señal; un dispositivo de salida y un protocolo de control.

El sistema de adquisición de señal grava la actividad cerebral del individuo, mientras que el módulo de procesamiento de señal identifica patrones significativos en la señal de la actividad cerebral que reflejen la intención del individuo, luego un dispositivo de salida tal como un cursor en un monitor, o un brazo robótico o una silla de ruedas, y un protocolo que controla la interacción entre los componentes y el individuo, ya sea este un usuario directo o un operador. Los BCI suelen hacer uso del EEG o del electrocorticografía (ECoG) para. La

figura N°3 muestra los componentes básicos de dichos sistemas.

Los sistemas basados en EEG pueden fácilmente ser utilizados con sujetos saludables o pacientes ya que la señal EEG es medida con electrodos de superficie activa colocados en la cabeza, que pueden ser electrodos secos o electrodos que requieren gel electroconductor, agua salada u otros materiales para garantizar un buen contacto con el cuello cabelludo ya que las señales se atenúan rápidamente debido a la baja conductividad de los huesos.

Por su parte, los sistemas BCI basados en ECoG son utilizados con pacientes en proceso de someterse a cirugía del cerebro o algún otro tratamiento invasivo que utilizan electrodos implantados directamente desde la superficie expuesta de la corteza, en patrones de grilla o hileras con entre 64 y 256 canales.

Los electrodos del EEG o del ECoG se conectan a un amplificador de señal para aumentar la intensidad de las señales que se transmiten a un computador para su análisis en tiempo real.

El sistema de procesamiento ejecuta métodos de extracción de parámetros tales como: estimación de la intensidad de la señal, cálculo de parámetros adaptativos auto-regresivos, estimación de varianza y muchas otras técnicas, después dichos parámetros son clasificados con métodos como el Análisis Discriminante Lineal, (LDA) o Máquinas de Vectores de Soporte (SVM).

El Análisis Discriminante Lineal (ADL) es un método utilizado en el reconocimiento de patrones y aprendizaje de máquinas para encontrar una combinación lineal de clases de objetos o eventos. Por su parte el método de Máquinas de Vectores de Soporte es un algoritmo relacionado con problemas de clasificación y regresión en el que dado un conjunto de ejemplos de entrenamiento (de muestras) se puede etiquetar las clases y entrenar una SVM para construir un modelo que prediga la clase de una nueva muestra.

Finalmente, estos métodos producen una señal de salida que permite el control en tiempo real de un dispositivo externo. Este control puede incluir el uso de un dispositivo robótico, alguna aplicación de ortografía o el movimiento de un cursor en un monitor. Consecutivamente el sistema genera una señal de retroalimentación indistintamente que la tarea en cuestión se desarrolle forma exitosa o no.

En distintas publicaciones se muestra que el lazo de retroalimentación ayuda a mejorar la efectividad y la velocidad de los sistemas BCI (Guger 2014, Neuper, 2014).

Por otra parte, las aplicaciones de los BCI son diversas, y abarcan un gran número de aplicaciones, según Mínguez, “Estas varían desde las aplicaciones en rehabilitación orientadas a la recuperación de capacidades motoras, hasta la lúdica y lucrativa industria de los videojuegos.” Mínguez, (2013).

2. Materiales y métodos

La metodología seleccionada para esta investigación fue una metodología ecléctica, compatible con los tipos de investigación documental y descriptiva, así como con el tipo experimental, y que consta de cinco fases: La primera fase consistió en la recopilación de la información y el análisis de la misma para producir un conjunto de antecedentes y las bases teóricas necesarias para llevar este proyecto a feliz término.

En tal sentido, en primer lugar, se obtuvieron todos los datos técnicos y bases teóricas requeridas para construir un sistema BCI donde un individuo pueda encender o apagar un interruptor mediante su mera intención, mediante técnicas no invasivas. Se investigaron las opciones existentes en el mercado, se evaluaron y se seleccionaron aquellos componentes que pueden integrarse de la forma más sencilla para formar la interfaz BCI necesaria, pero que además pueden integrarse a la interfaz experimental necesaria para comprobar la validez de la intención del usuario.

De ahí que, los materiales y equipos seleccionados para integrar la interfaz BCI fueron los siguientes: Equipo de adquisición de señales EAS (Kit Diadema NeuroSky modelo MindWave Mobile: Brainwave Starter Kit), incluye aplicaciones; Brainwave Visualizar, MindWave Mobile Tutorial; Equipo procesador de señales (Laptop) marca: Dell, modelo: Inspiron i3531-1200BK, 16 pulgadas Laptop con procesador Intel Celeron; Dispositivo de salida: Juego de interruptores; Arduino modelos: Uno; BlueSMiRF Silver/Gold, Avago HDSP-4832 10-Element LED bar graph array y otro conjunto de componentes de menor grado de importancia como resistencias, lámparas led e interruptores de un solo paso, descritos en el circuito del sistema.

Enfatizando, se emplearon criterios como, la capacidad de manejar el número de canales necesarios

para demostrar la intención del usuario y controlar el encendido y apagado de un interruptor, a un costo razonable y de forma no invasiva para el usuario, garantizando la seguridad e integridad del mismo y de los participantes en las pruebas. Ciertamente, cabe recordar que esta es una investigación en desarrollo.

A continuación, en la segunda fase se diseñará el prototipo de interfaz BCI, integrando los componentes seleccionados y configurando o desarrollando las interfaces de software y hardware necesarias para tal fin. En esta etapa se diseñarán las interfaces de hardware, cables y conectores para poder registrar la intención del individuo de encender o apagar un interruptor y para constatar o validar que esa sea su intención y no un suceso casual o fortuito.

Seguidamente, en la tercera fase se desarrollará el prototipo de interfaz BCI, se configurarán y comprobarán en su funcionamiento individual aquellos componentes que así lo ameriten y se integrarán con los demás componentes de acuerdo con el diseño establecido en la fase anterior y se llevarán a cabo las pruebas de integración que permitan comprobar su funcionamiento. Se harán los ajustes a que dé lugar y se actualizarán las bases teóricas de ser necesario.

Luego, en la cuarta fase se desarrollará un protocolo de pruebas del sistema BCI creado y que permita validar que un usuario pueda encender un interruptor o apagarlo con su mera intención, mediante la interfaz BCI. Dicho protocolo se validará mediante la participación de por lo menos tres expertos que deberán ser investigadores reconocidos. Se harán los ajustes necesarios de acuerdo con las recomendaciones de los expertos.

Finalmente, en la quinta fase se llevarán a cabo las pruebas de la interfaz BCI con los individuos seleccionados para formar la muestra y de acuerdo con el protocolo validado por los expertos. Se registrarán los datos para su ulterior análisis, conclusiones y para proponer las recomendaciones. Posteriormente se publicarán los resultados para compartir con la sociedad científica en el área y con el público general interesado.

Se empleará la estadística descriptiva para presentar las características de la distribución de los puntajes que se obtendrán de la aplicación de los protocolos de pruebas.

3. Resultados

Los resultados deben presentarse en orden lógico acorde a la metodología planteada. Usar tablas y figuras cuando sea posible para presentar los resultados de forma clara y resumida. Además, las referencias de tablas y figuras dentro del contexto del artículo deben ir en minúscula y sin punto al finalizar el texto. Ejemplo: En la figura 2 se muestran las mediciones realizadas en el período de enero a marzo.

Tenga mucho cuidado en el texto del artículo al usar porcentajes o estadísticas con un pequeño número de muestras. Incorrecto: "El 60 % (3/5) de las muestras de David y el 20 % (1/5) de Santiago han demostrado resistencia a los medicamentos." Correcto: "Tres de cada cinco ejemplares de David y 1 de cada 5 ejemplares de Santiago han demostrado resistencia a los medicamentos."

Aunque esta es una investigación en desarrollo, sus resultados parciales demuestran no solamente que, es factible activar un dispositivo, sea este un simple interruptor, o un brazo robótico o una silla de ruedas motorizada a través de una interfaz BCI con la mera intención, sin embargo, lo que es más importante, la efectividad con que la interfaz permite el proceso es un factor crítico que aún debe demostrarse.

Es precisamente la demostración de la efectividad de las interfaces basadas en BCI el objetivo de la investigación, es por ello que se hace necesario culminar la misma para demostrar que las interfaces de mayor uso en la actualidad, llamadas Graphical User Interface o GUI, basadas en elementos gráficos que se muestran, por lo general, en pantallas táctiles y que pueden depender, además, de dispositivos, tales como teclados y ratón, pueden sustituirse por interfaces BCI para permitir que tanto personas con funcionalidad diversa como personas sanas puedan hacer uso de las tecnologías de forma similar, disminuyendo la brecha digital.

4. Conclusiones

Por ser una investigación en desarrollo, las conclusiones son parciales y derivan de la etapa documental de la misma. En tal sentido, la información recabada indica que es posible hacer uso de una interfaz BCI para activar algún dispositivo sin necesidad de hacer uso del sistema nervioso periférico.

También, se desprende de los antecedentes estudiados que, la efectividad es una variable que aún debe ser

probada para garantizar la intencionalidad del individuo en las acciones.

El impacto de esta investigación es amplio, para el sector gobierno, esta investigación contribuye en la búsqueda de una solución efectiva contra el problema de la "Brecha Digital", problema que aísla y discrimina a una parte importante de la población. Por otra parte, las economías se verán beneficiadas gracias a la incorporación por medio del uso de interfaces BCI, de los ciudadanos con funcionalidad diversa, pero, además, darles a los ciudadanos que no poseen funcionalidad diversa una nueva forma alternativa de hacer sus trabajos, una forma inclusiva desde la perspectiva social. En tal sentido, vale la pena señalar que el sector productivo privado también se verá beneficiado, al poder incorporar a la fuerza laboral a individuos con funcionalidad diversa pero también, poder conservar la experiencia y las habilidades de sus trabajadores. Es por ello que los beneficiarios potenciales de esta investigación serán para todos los miembros de la sociedad mundial en general.

5. Agradecimiento

Este trabajo fue inspirado por los miles de individuos con funcionalidad diversa a nivel mundial y el estímulo de las mentoras: Dra. Aura López y Dra. Cecilia Montiel, gracias por su apoyo incondicional.

6. Referencias

- Bergoglio, J. (2015). Papa Francisco: El trabajo es sagrado y da dignidad a la familia [Publicación electrónica]. Aciprensa.com. 19 de agosto de 2015. Consultada el 03 de noviembre de 2016 en: <https://www.aciprensa.com/noticias/papa-francisco-el-trabajo-es-sagrado-y-da-dignidad-a-la-familia-97291/>
- Cariño-Escobar, R. (2014). Similitud de imaginación de movimiento con movimiento real como clasificador para Sistema de Interfaz Cerebro-Computadora [Artículo de publicación electrónico]. Memorias del Tercer Concurso de Investigación, Desarrollo e Innovación CEDIT 2014, de la Universidad La Salle, Méjico. Consultado el 09 de julio de 2016 en: http://zeus.lci.ulsal.mx/portales/cidit/archivos/2014/articulo_008.pdf
- Frescuet, J. (2015). Hans Berger (1873-1941) y la electroencefalografía [Artículo de publicación electrónico]. historiadelamedicina.wordpress.com, Universitat de València, España. Consultada el 05 de noviembre de 2016 en: <https://historiadelamedicina.wordpress.com/2015/05/21/hans-berger-1873-1941-y-la-electroencefalografia/>

- García, P. y otros. (2013). Interfaz Cerebro Computadora Embebida basada en Potenciales Evocados Visuales de Estado Estacionario [Artículo de publicación electrónico]. Informe de las Segundas Jornadas de Investigación y Transferencia 2013, de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Consultada el 09 de julio de 2016 en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/38006/Documento_completo.pdf?sequence=1
- González F.y otros. (2012). Diseño y Construcción de un Prototipo de Interfaz Cerebro-Computadora (ICC) para el control de un puntero indicador [Publicación electrónica de Trabajo de Grado]. Instituto Politécnico Nacional, Méjico. Consultada el 10 de julio de 2016 en:<http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3834/Dise%C3%B1o%20Y%20Construcci%C3%B3n%20De%20Un%20Prototipo%20De%20Interfaz%20Cerebro-Computadora%20%28ICC%29%20Para%20El%20Control%20De%20Un.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Guger, C. y otros. (2014). Brain-Computer Interface Research [eBook]. USA, Springer. Consultada el 04 de noviembre de 2016 en: <http://www.springer.com/us/book/9783642547065>
- Guzmán, J. (2015). La Actividad Cerebral [Artículo de publicación electrónico]. NEUROFISIOLOGÍA MÁLAGA, España. Consultada el 05 de noviembre de 2016 en: <http://neurofisiologiagrana.com/eeg/eeg-actividadcerebral.htm>
- Mínguez, J. (2013). Tecnología de Interfaz Cerebro - Computador [Artículo de publicación electrónico]. Universidad de Zaragoza, España. Consultada el 10 de noviembre de 2016 en: http://webdiis.unizar.es/~jminguez/Sesion001_UJI.pdf
- Morán, A. (2015). Diseño de Interfaz Cerebro-Maquina controlados mediante registros de EEG [Publicación electrónica de Trabajo de Grado] Universidad Autónoma de Madrid, España. Consultada el 04 de noviembre de 2016 en: <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20150203AlvaroMoranGarcia.pdf>
- Nuepr,C. y otros (2014). Cortical effects of user training in a motor imagery based brain-computer interface measured by fNIRS and EEG. [Publicación electrónica de artículo científico].NCBI,PubMed,USA, Consultada el 04 de noviembre de 2016 en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23651839>
- Oficina Estadística de la Unión Europea. (2003). DISCAPACIDAD Y EXCLUSIÓN SOCIAL EN LA UNIÓN EUROPEA [Informe con publicación electrónica]. Cerme.es. 2003. Consultada el 11 de julio de 2016 en: <http://www.cermiasturias.org/fotos/7Exclusion.pdf>
- Ron, R. (2012). Interfaz Cerebro-Computadora, Pensamientos al servicio de la comunicación [Artículo de publicación en revista cuatrimestral electrónica de la Universidad de Málaga, España]. Uciencia N°9, página 36. Consultada el 10 de julio de 2016 en: <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/300376>
- UNESCO. (2016). Educación para la salud, El acoso homófobo, El bullying [Publicación electrónica]. Noticias UNESCO. 2016. Consultada el 03 de noviembre de 2016 en: <http://www.unesco.org/new/es/education/themes/leading-the-international-agenda/health-education/homophobic-bullying/bullying/>