# Comparación de plataformas de interfaces cerebro-computadora para aplicación en sistemas domóticos: Muse, MindWave Mobile y EPOC+.

**Autor principal:** Rodríguez Juárez Adan Felipe

**Coautores:** Urciel Hernández Erika Jazmin, Aguilar Navarrete Perla, Benitez Cortes Rubén Paul, Camacho González María Francisca Yolanda, Álvarez Rodríguez Francisco Javier.

## Resumen

Actualmente existen varias opciones de interfaces cerebro-computadora en el mercado, a las cuales pueden acceder profesionales o usuarios comunes. Entre la diversidad existente puede resultar difícil seleccionar un dispositivo que cumpla con las características para su aplicación en la domótica. Este trabajo busca esclarecer las características de tres modelos de BCI, encontrar las similitudes entre ellas y delimitar sus diferencias para que se pueda hacer una mejor elección cuando el uso al que se destinará sea como interfaz en sistemas domóticos. De las BCI seleccionadas para este trabajo, la más apta para aplicarse en un sistema domótico es la MindWave Mobile de NeuroSky, dado que sus características son las que brindan más posibilidades en este tipo de aplicativos. Como resultado de la investigación multidisciplinaria sobre las BCI se pueden encontrar avances notables enfocados principalmente hacia software o tecnologías asistivas, sin embargo aún falta el desarrollo de un entorno de trabajo en común, por ello es importante hacer hincapié en la necesaria colaboración transdisciplinaria en investigación, para un mejor entendimiento de esta tecnología.

## Introducción

El desarrollo de la tecnología ha traído consigo el aumento de las capacidades de procesamiento y almacenamiento de los equipos de cómputo, que conjugadas con la miniaturización de los componentes han permitido la aparición de los dispositivos portátiles que hacen posible vivir fantasías futuristas que solo se podían imaginar o eran observadas en alguna película. Los que han llamado más la atención dentro de este mercado, son los “...sistemas de comunicación que monitoriza la actividad cerebral y traduce determinadas características correspondiente a las intenciones del usuario, en comandos de control de dispositivos, es decir, que una persona pueda controlar determinados dispositivos a partir de su actividad cerebral” (Hornero, Corralejo, & Álvarez, 2010). Estos sistemas, son mejor conocidos como: Sistemas de Interfaz Cerebro-Computadora (o BCI, por sus siglas en inglés y han venido a sorprender al público en general y sobre todo a profesionales tanto del área de sistemas computacionales y electrónica como a los del área de la salud y rehabilitación, ya que pueden resultar principalmente útiles para personas con algún tipo de discapacidad motriz (sea congénita, secuela de alguna condición clínica o propias de la tercera edad).

Son muchas las empresas que han incursionado en el desarrollo y comercialización de las BCI, cada una incluyendo diferentes características. Aunque estas diferencias entre los equipos son bien marcadas, tienen similitudes importantes, lo cual se traduce en que resulte difícil hacer una elección adecuada, en función del uso que se le dará a estos aparatos y más aún si se utilizará en el ámbito de la automatización de hogares.

Si bien se han hecho comparaciones entre dispositivos BCI, no se encuentran antecedentes sobre las características de una comparativa entre varios modelos de estos dispositivos en cuanto a sus características para su aplicación en automatización en un campo específico. Por lo cual, este trabajo busca esclarecer las características de tres modelos de BCI, encontrar las similitudes entre ellas y delimitar sus diferencias para que se pueda hacer una mejor elección cuando el uso al que se destinará sea como interfaz en sistemas domóticos.

### Antecedentes de uso de BCI en sistemas domóticos

En años pasados la automatización para el hogar no podía pensarse sin incluir un medio para su manipulación. Uno de los factores para lo anterior era que la tecnología disponible no había demostrado los niveles de confianza necesaria. Sin embargo, con el avance de esta tecnología, y ante la incipiente factibilidad que resulta por la abundancia de BCI en el mercado y asequibilidad de estas, era casi obligatorio que se le viera potencial a su uso en la domótica, especialmente pensando en usuarios que sufrieran de discapacidad que condicionara una carencia de autonomía. Esto lo respaldan Ierache, Pereira, Sattolo e Iribarren (2013) quienes señalan que “controlar artefactos, mover robots o facilitar la aplicación de dispositivos para discapacitados sin aplicar controles manuales y alcanzar el control sólo a través de la actividad mental, fascinó a los investigadores”.

#### MindWave Mobile de Neurosky

* Vourvopoulos & Liarokapis (2011) detallan dos prototipos que utilizan las operaciones básicas de movimiento y detección de obstáculos de un robot Lego Mindstorms NTX. El primero de ellos utiliza los niveles de atención y concentración de una BCI NeuroSky Mindset para que el robot acelere o decelere, pudiendo modificar el umbral de valor para obtener el movimiento.
* Rivera y Rivas-Llamas (2016) desarrollaron un sistema de control domótico dirigido a personas con discapacidad motriz utilizando la BCI MindWave Mobile de NeuroSky. Apoyándose de comandos de voz, dicho sistema realiza el encendido y apagado de electrodomésticos, iluminación, calefacción, ventilación así como la manipulación de un televisor, permitiendo el cambio de canales y de volumen.

#### Muse de Interaxon

### Como indica Jackson (2013) la BCI Muse de Interaxon está diseñada para trabajar con aplicaciones para salud mental, entrenamiento físico, manejo de estrés, entre otras. Durante esta investigación no se encontraron antecedentes de implementación de dicha BCI en sistemas domóticos o en automatización.

#### EPOC + de Emotiv

* En el trabajo de Chávez Nieto ( 2013) se diseña e implementa un sistema domótico basado en tecnologías web habilitado para la interacción con un dispositivo de interfaz cerebro-máquina Emotiv EPOC. Además, se desarrolla un prototipo de sistema domótico que incluye tanto el software, necesario para controlar la automatización de elementos básicos de un hogar, como también su complemento en hardware y electrónica requerida para su funcionamiento. En las conclusiones se refiere a las BCI como ‘una posibilidad invaluable’ en el caso de utilizarla para lograr independencia de dispositivos de entrada físicos para el control de computadoras y/o aplicaciones, como en la domótica. Sin embargo, a raíz de la resolución, los prolongados tiempos de respuesta y las tasas de error de la BCI EPOC, menciona que puede presentar errores que, en otro tipo de aplicaciones (como en entornos profesionales o clínicos) podría ser críticos.
* Se utiliza el BCI Emotiv EPOC para el control de un robot Lego NXT en cuatro direcciones (izquierda, derecha, adelante y atrás) y para el control de artefactos en un contexto de domótica. Y aunque indica que si bien alcanzar una plasticidad con una BCI requiere tiempo por parte del usuario, en el caso del robot Lego NXT se alcanzaron ligeras mejoras en los tiempos con el uso de control mental en relación al control manual, en las pruebas de ejecución del mismo patrón de navegación (Ierache et al., 2013).
* Vourvopoulos & Liarokapis (2011)desarrollan un segundo prototipo que utiliza una BCI Emotiv EPOC, tomando los valores de sensores permitiendo un completo control del robot robot Lego Mindstorms NTX a través de las señales cerebrales y de las expresiones faciales del usuario. La BCI Emotiv EPOC brinda datos del usuario más precisos, sin embargo los autores afirman que se requiere la creación de un sistema de software más completo y robusto para lograr controlar el robot. A la fecha de la publicación este prototipo aún estaba en etapa de desarrollo.
* Cáceres y Jiménez (2014) realizaron pruebas con la BCI EPOC+ para ver su funcionamiento en sistemas domóticos en base a 3 módulos (afectivo, expresivo y cognitivo). Además realizaron un entorno domótico virtual y lo probaron con distintos usuarios para ver cómo se comportaba, después a esos usuarios se les dio un entrenamiento de 1.5 horas y se realizan las mismas pruebas de nuevo. El resultado arrojó que después del entrenamiento, los usuarios mejoran en el módulo cognitivo y mejora su porcentaje de aciertos (65 a 95%).

## Objetivos

### Objetivo general

* Establecer una comparativa que sirva como referencia para elegir el mejor sistema de Interfaz Cerebro Computadora para la manipulación de sistemas domóticos.

### Objetivos específicos

* Comparar características técnicas de los sistemas BCI de los dispositivos Muse (de Interaxon), Mindwave Mobile (de NeuroSky) y EPOC + (Emotiv).
* Describir los antecedentes de uso más relevantes de los dispositivos en relación a sistemas domóticos.
* Encontrar características entre los dispositivos que puedan brindar facilidades y aquellas que puedan significar obstáculos para su implementación en sistemas domóticos.

## Metodología

Se llevó a cabo una búsqueda de información sobre las características técnicas de las BCI, según lo descrito por los propios fabricantes de los dispositivos. Esta revisión fue enfocada principalmente a conocer el hardware, la accesibilidad de uso y la conectividad.

Posteriormente, se hizo una revisión bibliográfica de publicaciones entre los años 2011 y 2016, cuyo objetivo fuera describir o comparar características de los dispositivos BCI MindWave Mobile de Neurosky, Muse de Interaxon, EPOC + de Emotiv. Los dispositivos fueron evaluados según la idoneidad que tienen para su aplicación en sistemas domóticos. Esto considerando las prestaciones para desarrollo, de uso ergonómico y de facilidad para el mantenimiento, según lo encontrado en fuentes oficiales de las marcas fabricantes y las características físicas observadas directamente.

## Avances

### Comparativa de las características técnicas de las Interfaces Cerebro-Computadora

Al realizar una búsqueda en Internet con el tópico de las Interfaces Cerebro Computadora, rápidamente se obtienen resultados sobre dónde y cómo comprarlas. Sin embargo, ante la información mostrada en las páginas oficiales de los diferentes dispositivos de BCI, la selección se vuelve difícil cuando el aplicativo al que están destinados es el de la domótica. Por ello la presente investigación busca de manera más específica conocer las características de cada dispositivo y cuáles de dichas características se pueden utilizar para sistemas domóticos. Esto con la finalidad de facilitar la selección para personas y equipos de trabajo de proyectos de domótica orientados, más específicamente aunque no de forma exclusiva, hacia usuarios con discapacidad motriz.

Los tres dispositivos BCI seleccionados para esta investigación son: Muse (de Interaxon), Mindwave Mobile (de NeuroSky) y EPOC + (de Emotiv). Sus especificaciones técnicas tienen varias similitudes, como puede observarse en la tabla 1 más adelante.

Tabla 1. Algunas especificaciones técnicas de las BCI: Muse (de Interaxon), Mindwave Mobile (de NeuroSky) y EPOC + (de Emotiv).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **NeuroSky MindWave Mobile** | **Muse** | **EMOTIV EPOC +** |
| **MARCA** | NeuroSky | InteraXon | EMOTIV |
| **MODELO** | MindWave Mobile | muse 2016 | EPOC + 1.1 |
| **PRECIO** | 99.99 USD | 249.00 USD | 799.00 USD |
| **TIEMPO AUTONOMÍA** | Máximo 10 hrs. | Máximo 10hrs. | 12 hrs. |
| **ENERGÍA** | Usa una baterÍa AAA | La batería es de Li-Ion de 3.7v, recargable. | Batería de Litio, recargable. |
| **SISTEMAS OPERATIVOS COMPATIBLES** | Windows, Mac, iOS (iOS 8 o posterior) y Android (2.3 o posterior). | iOS, Android. | Windows, Mac OS. |
| **MATERIAL** | La carcasa fabricada en plástico color gris oscuro con acabado mate.  Los sensores están hechos con un material metálico. | Carcasa hecha plástico color gris con acabado mate.  Sus electrodos frontales están hechos de Plata y los traseros de Silicona conductora de caucho. | Carcasa plástica color negro con acabado mate. Sensores metálicos con cubierta de contacto de fieltro. |
| **PESO** | 90g | 60g | Desconocido |
| **SENSORES Y DISTRIBUCIÓN (SISTEMA 10-20)** | Sensores secos.  1 en la frente (FP1 ) y 1 en el lóbulo de la oreja. | Sensores secos.  2 en la frente, detrás de las orejas y 3 de referencia(TP9, AF7, AF8, TP10). | Sensores húmedos.  14 sensores: AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4.  2 de referencia: En CMS/DRL configuración de cancelación de ruido en P3/P4. |
| **CONEXIÓN** | Módulo Dual: BT(SPP) para PC, Mac, Android y BIT(GATT) para iOS su rango de alcance es de 10 metros. | BT 4.0 BTLE | Wireless: Bluetooth® Smart  Proprietary wireless: 2.4GHz band |
| **ACELERÓ-**  **METRO** | N/A | Tres ejes @ 52 Hz, resolución de 16 bits, Rango + / - 4G | N/A |
| **PUERTOS FÍSICOS** | N/A | Micro USB para carga | Micro USB para carga |

Entre las características que comparten los equipos se encuentra que las tres brindan un tiempo de uso continuo superior a las 10 horas, aunque sólo la MindWave Mobile utiliza baterías desechables, es AAA, una medida estándar disponible en supermercados y farmacias, lo cual facilita su adquisición, aunque aumenta los costos de su implementación. Por otro lado, las otras dos poseen batería de Li-Ion, que al corto plazo se traduce en menor costo, pero al mediano y largo plazo no hay soporte técnico para el reemplazo de la batería, lo cual significa que muy probablemente se requerirá un cambio de equipo una vez agotada su vida útil.

Los tres dispositivos utilizan el protocolo Bluetooth como vía de conexión, sin embargo, es importante hacer notar que la BCI EPOC + es la única que maneja también un protocolo propietario a 2.4 GHz, que requiere un transceptor dongle USB para poder ser utilizado en ambiente Windows y Mac, cerrando de varias formas su implementación, ya que como lo menciona DomoPrac (2009) respecto a los protocolos propietarios: "son protocolos cerrados de manera que sólo el fabricante puede realizar mejoras y fabricar dispositivos que ‘hablen’ el mismo idioma... Otro problema que tienen es: la vida útil del sistema domótico, en un sistema propietario que depende en gran medida de la vida de la empresa y de la política que siga, si la empresa desaparece, el sistema desaparece y las instalaciones se quedan sin soporte ni recambios".

### BCI: Prestaciones y limitaciones para su implementación en sistemas domóticos

Las necesidades de las personas con discapacidad deben cubrirse favoreciendo la adaptación al entorno y los medios para obtener condiciones prioritarias como son la manipulación, las habilidades para la autonomía personal, entre otras (Luna Kano, 2013). Por ello, la selección de la BCI debe hacerse con base en las características de los usuarios a los que está orientado el sistema domótico. Por ello, más allá de las características técnicas, las BCI poseen cualidades que pueden aprovecharse para su aplicación en automatización. Algunas de estas características se detallan en esta sección y se describen de forma resumida en la tabla 2.

Tabla 2. Prestaciones de las BCI seleccionadas para su uso en domótica.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | **Mindwave Mobile** | **Muse** | **Epoc +** |
| **Desarrollo** | **Acceso a datos crudos** |  |  | No se encontró información al respecto. |
| **Acceso a datos procesados** |  | Algunos, a través del SDK. | No se encontró información al respecto. |
| **SDK gratuito** | (PC, MAC, Android, IOS) y cuenta con diversas herramientas de desarrollo. | (Android, IOS, Windows y próximamente en MAC) | (Windows y MACOS) |
| **Conectividad** | Bluetooth 2.1 | Bluetooth 4.0 | Bluetooth 4.0 y protocolo propietario 2.4 GHz. |
| **Uso ergonómico** | **Tiempo de autonomía** | Máximo 10 horas | Máximo 10 horas | Máximo 12 horas |
| **Usabilidad** | Alta | Media | Baja |
| **Comodidad** | Media | Alta | Baja |
| **Colocación** | Alta | Alta | Baja |
| **Resistencia a golpes** | Media | Media | Media |
| **Flexibilidad** | Media | Media | Baja |
| **Mantenimiento** | **Soporte técnico** | Existe información respecto a resolución de problemas comunes. No se encontró información respecto a reparaciones del equipo. | Existe información respecto a resolución de problemas comunes. No se encontró información respecto a reparaciones del equipo. | Existe información respecto a resolución de problemas comunes. No se encontró información respecto a reparaciones del equipo. |

#### Muse de Interaxon

Muse cuenta con un SDK, el cual brinda opciones para el desarrollo en dispositivos móviles Android, iOS y Windows, y próximamente Mac OS. Dicho SDK permite el acceso a datos en bruto y hasta cierto punto, a datos que son procesados por el dispositivo (Muse, 2015; The Autodidacts, 2016).

#### MindWave Mobile de NeuroSky

Esta BCI, según el manual de usuario brindado por la propia compañía NeuroSky, utiliza un algoritmo propietario llamado eSense para caracterizar los estados mentales. Estos valores son enviados desde la BCI al dispositivo al cual se encuentre conectado, pudiendo este medirlos, procesarlos y utilizarlos según su intensidad. Se menciona en diversas investigaciones que con un corto periodo de práctica por parte del usuario se logra un mayor control de los valores obtenidos (Vourvopoulos & Liarokapis, 2011; Morán García, 2015; NeuroSky Inc., 2017).

Al utilizar Bluetooth 2.1, es compatible con una gran cantidad de dispositivos del mercado, en plataformas Windows, Mac, iOS y Android. Además de ser una BCI de bajo costo con un precio que ronda los 100 dólares, es la de más fácil adquisición en México.

#### 

#### EPOC+ de Emotiv

Los datos de esta BCI están encriptados, por lo que no hay acceso a los datos obtenidos de forma. Para poder acceder a ellos se requiere adquirir el SDK, que tiene un costo de $ 799 dólares (Emotiv, 2017).

## Conclusiones

Como resultado de la investigación transdisciplinaria sobre las BCI se pueden encontrar avances notables enfocados principalmente hacia software o tecnologías asistivas.

En la etapa de la búsqueda de información técnica de los dispositivos se hizo notorio que no existe una uniformidad de las características de los dispositivos BCI, por lo que es importante hacer hincapié en que aún falta el desarrollo de un entorno de trabajo en común, pues al no existir se causa una reducción de la velocidad de desarrollo debido a la inexistencia de un entorno estandarizado que los investigadores puedan utilizar (Mason 2003 citado en Chavez Nieto, 2013). En el caso de los protocolos propietarios y los SDK que requieren pago de licencia, es probable que en poco tiempo, convenga a las empresas eliminar este tipo de candados para que haya más desarrolladores interesados, y por ende más y mejores productos de software que atraigan consumidores. Esto podría suceder en los próximos años, como se ha visto con otras tecnologías.

En cuanto a las prestaciones de las BCI seleccionadas para la realización de este trabajo, la más apta para aplicarse en un sistema domótico es la MindWave Mobile de NeuroSky, dado que las características para desarrollo, implementación y soporte son las menos cerradas y las que brindan más posibilidades, reduce significativamente los costos en relación a las otras participantes y además es más accesible y cómoda para los usuarios, fácil de portarse y su reposición es menos costosa. Es importante el potencial que las Interfaces Cerebro Computadora tienen como canal de comunicación natural entre el humano y la tecnología, y sobre todo, es remarcable que en el futuro significará una herramienta importante para las personas que sufren una discapacidad o que por su edad o alguna condición de salud, vean mermada su independencia.

Finalmente, es importante hacer hincapié en la necesaria colaboración transdisciplinaria en investigación, para un mejor entendimiento de esta tecnología. Esto consolidará un mayor dominio de los principios de funcionamiento de las BCI, con una consecuente mejora en la forma en la que es aprovechada.

## Bibliografía

Cáceres, C., & Jiménez, R. (2014). Implementación de un Sensor de Electroencefalograma (EEG) en aplicaciones Domóticas. Retrieved from http://repository.unimilitar.edu.co:8080/handle/10654/11700

Chavez Nieto, J. E. (2013). *PROTOTIPO DE SISTEMA DOMÓTICO HABILITADO PARA INTERACCIÓN CEREBRO-MÁQUINA*. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Retrieved from http://opac.pucv.cl/pucv\_txt/txt-3000/UCE3376\_01.pdf

DomoPrac. (2009). El Protocolo de comunicaciones, el lenguaje de la domótica - Conceptos básicos - DomoPrac - Domotica practica paso a paso. Retrieved July 26, 2017, from http://www.domoprac.com/domoteca/domoteca/conceptos-basicos/el-protocolo-de-comunicaciones-el-lenguaje-de-la-domotica.html

Emotiv. (2017). EMOTIV Epoc - 14 Channel Wireless EEG Headset. Retrieved July 29, 2017, from https://www.emotiv.com/epoc/

Hornero, R., Corralejo, R., & Álvarez, D. (2010). Brain-Computer Interface (BCI) aplicado al entrenamiento cognitivo y control domótico para prevenir los efectos del envejecimiento. *Lychnos Cuadernos de La Fundación General CSIC*, *8*. Retrieved from http://www.fgcsic.es/lychnos/es\_es/articulos/Brain-Computer-Interface-aplicado-al-entrenamiento-cognitivo

Ierache, J. S., Pereira, G., Sattolo, I., & Iribarren, J. (2013). Aplicación de interfases lectoras de bioseñales en el contexto de la domótica. *XV Workshop de Investigadores En Ciencias de La Computación*, 723–727. Retrieved from http://lsia.fi.uba.ar/papers/ierache13.pdf

Jackson, G. (2013). *Towards a Wireless EEG System for Ambulatory Mental Health Applications*. University of Toronto. Retrieved from https://tspace.library.utoronto.ca/handle/1807/42967

Luna Kano, M. del R. (2013). Tecnología y discapacidad: Una mirada pedagógica. Retrieved August 1, 2017, from http://www.revista.unam.mx/vol.14/num12/art53/

Morán García, Á. (2015). *DISEÑO DE INTERFACES CEREBRO-MÁQUINA CONTROLADOS MEDIANTE REGISTROS DE EEG*. *Proyecto de fin de carrera (EPS-UAM)*. Universidad Autónoma de Madrid.

Muse. (2015). Muse - Meditation made easy. Retrieved July 28, 2017, from http://www.choosemuse.com/

NeuroSky Inc. (2017). MindWave Mobile : User Guide. NeuroSky Inc.

Rivera, O., & Rivas-Llamas, J. (2016). Control domótico por ondas cerebrales con apoyo mediante comandos de voz. *Revista de Sistemas Computacionales Y TIC’s*, *2*, 29–35. Retrieved from http://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Sistemas\_Computacionales\_y\_TICs/vol2num6/Revista\_de\_Sistemas\_Computacionales\_y\_TIC%60S\_V2\_N6.pdf

The Autodidacts. (2016). Neurotech Hardware Roundup 2016 — The Autodidacts. Retrieved July 31, 2017, from http://www.autodidacts.io/neurotech-hardware-roundup-eeg-bci-tdcs-neurofeedback/

Vourvopoulos, A., & Liarokapis, F. (2011). Brain-controlled NXT Robot: Tele-operating a robot through brain electrical activity. *Proceedings - 2011 3rd International Conferenceon Games and Virtual Worlds for Serious Applications, VS-Games 2011*, (September 2016), 140–143. https://doi.org/10.1109/VS-GAMES.2011.27