

Estado del Arte: Interfaces Cerebro Computadora

Montalvo, Melissa. *Estudiante Ing. Electrónica*
 mmontlavoll@est.ups.edu.ec
 Universidad Politécnica Salesiana

Resumen— El presente estado del arte expone una síntesis de uno de los temas con mayor desarrollo en los últimos años debido a la variedad de aplicaciones que ofrece, así como su importancia en la comprensión de la neurociencia. Las Interfaces Cerebro Computadora presentan un esquema de desarrollo definido que comienza con la obtención de las señales cerebrales, su correspondiente análisis según el resultado deseado, la creación de una interfaz externa y su posterior aplicación en un sinnúmero de formas que crecen cada día según las necesidades actuales. La principal aplicación de las Interfaces Cerebro Computadora es la creación de dispositivos que ayuden a personas impedidas físicamente en su movimiento a controlar dispositivos externos que utilicen como control señales cerebrales, en lugar de señales musculares, para el mejor manejo de su entorno y una óptimo desenvolvimiento en la sociedad. Aunque las Interfaces presentan un amplio rango de aplicación, también existen problemas relacionados con el procesamiento de las señales cerebrales y su correcta interpretación.

Abstract— This state of the art discloses a synthesis of one of the subjects most development in recent years due to the variety of applications available, and their importance in understanding neuroscience. The Brain Computer Interfaces have a defined development scheme that begins with obtaining brain signals, their analysis according to the desired result, the creation of an external interface and its subsequent application in a number of forms that grow each day as needed current. The main application of Brain Computer Interfaces is creating devices that help physically challenged people in their movement to control external devices using brain signals as a control rather than muscle signals, for better management of their environment and optimal society development. Although Interfaces present a wide range of applications, there are problems related to the processing of brain signals and their correct interpretation

Índice de términos—Electroencefalograma, Interfaz Aumentada Cerebro Computadora, Interfaz Cerebro Computadora, Interfaz Cerebro Máquina.

I. INTRODUCCIÓN

UNA Interfaz Cerebro Computadora (ICC o BCI por sus siglas en inglés), a veces llamada Interfaz Neuronal Directa o una Interfaz Cerebro Máquina (ICM), detecta e interpreta las señales del cerebro y utiliza los resultados para comunicar la intención de un usuario [1], convirtiéndose así

en una nueva modalidad de interacción hombre-máquina que permite a los usuarios utilizar sus pensamientos para controlar diversos dispositivos externos [2].

II. INTERFACES CEREBRALES

A pesar del interés existente en la posibilidad de controlar los dispositivos que utilizan directamente las señales del cerebro, ha sido sólo durante los últimos 20 años donde este campo de investigación se ha desarrollado mediante experimentos y publicaciones de interés al respecto a pesar de que las bases de esta exploración se asentaron a principios del siglo XX.

Un sistema de ICC está, en general, integrada por los siguientes componentes: adquisición de señales, preprocesamiento, extracción de características, clasificación, una interfaz de la aplicación, y retroalimentación del sistema [3].

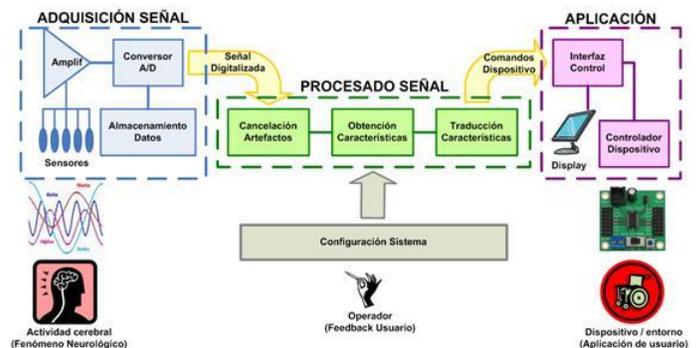


Fig. 1. Diagrama de bloques de una ICC[4].

A. Adquisición de la Señal

Las señales cerebrales a analizarse se obtienen mediante un Electroencefalograma (EEG), dado que varias de sus características y formas de onda se relacionan con procesos cerebrales bien conocidos que pueden ser generados espontáneamente por el usuario o inducidos mediante estímulos visuales o sonoros [5].

Los EEG se clasifican según su método de adquisición invasivo, parcialmente invasivo y no invasivo. El tipo más común de ICC no invasivo capturar la señal de EEG por medio de electrodos (o canales) que se encuentran en diferentes lugares en el cuero cabelludo del usuario.



Fig. 2. Electroencefalograma no Invasivo para pruebas en Interfaces Cerebro Computadora [6].

Para la adquisición de señal de tipo invasivo es necesario la utilización de electrodos profundos y electrodos subdurales que se colocan de forma intracraneal en el individuo. La diferencia en el uso de métodos invasivos o no invasivos está sujeta a la aplicación y tipo de procesamiento de la señal a obtenerse.

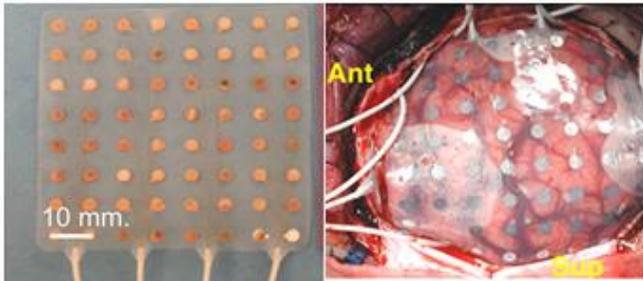


Fig. 3. Electroencefalograma Invasivo mediante la utilización de una macro red de electrodos [7].

B. Procesamiento

Una vez obtenidas las señales del EEG, están tienen que ser procesadas mediante diversos pasos:

1. Un filtro espacial L se aplica a los datos de dominio de tiempo, representados por una transformación lineal de los datos originales [8].
2. La transformada rápida de Fourier (FFT siglas en inglés) se aplica a los datos filtrados espacialmente. Por lo tanto, los datos de EEG se transforman del dominio del tiempo al dominio de frecuencia.
3. Finalmente, se seleccionan las bandas de frecuencia más relevantes de acuerdo a la aplicación futura [5].

En el campo de las interfaces cerebro-computadora uno de los temas más relevantes es clasificar la señal de EEG con

precisión mediante el filtrado de las series expresadas en el dominio del tiempo.

El mayor obstáculos para la construcción de BCI potentes basadas en el EEG es la baja relación señal -ruido de los registros de EEG; es decir, que los componentes del EEG que proporcionan información sobre la intención del usuario son por lo general muy encubiertos por curso la actividad de fondo del cerebro [9], lo que dificulta en gran medida el análisis de las señales necesarias para una correcta interfaz cerebral.

C. Aplicaciones

El objetivo fundamental de la investigación ICC ha sido el establecimiento de la tecnología de interfaz como un dispositivo de ayuda para ser utilizado por personas con discapacidades motoras severas tales como trastornos neuromusculares graves, accidente cerebrovascular del tronco cerebral, parálisis cerebral, lesión de la médula espinal de alto nivel [10], entre otros.

El objetivo de BCI principalmente consiste en convertir pensamientos en acciones. Las aplicaciones potenciales incluyen interfaces de ordenador (ej. teclado virtual [11] o entornos de realidad virtual [3]), robots móviles [12], la estimulación muscular funcional [13], entre otras muchas aplicaciones.

Como un sistema de comunicación no muscular, las ICC han encontrado muchas aplicaciones para las personas que no pueden usar sus músculos, pero son cognitivamente intactos para escribir frases seleccionando cartas de un alfabeto [14] o para transmitir información a través de señales cerebrales específicas.

C.1 Interfaz Cerebro Máquina

La Interfaz Cerebro Máquina (ICM o BMI por sus siglas en inglés) se puede definir como los circuitos neuronales eléctricos y computacionales artificiales que compensan, reconstruyen, reparan, e incluso mejoran las funciones cerebrales que van desde el centro sensorial a los dominios de control de motores [15].

En las últimas dos décadas, se ha producido un rápido progreso en este tipo de interfaces que proporcionan un vínculo claro entre lo humano y una máquina externa, dado que en un principio fueron utilizados como un medio para la comprensión de los mecanismos básicos a través del cual el sistema nervioso controla el movimiento [16].

Las ICM son capaces tanto de extender las capacidades humanas (ej. control de computadores) y de su sustitución (ej. miembros biónicos) [17].

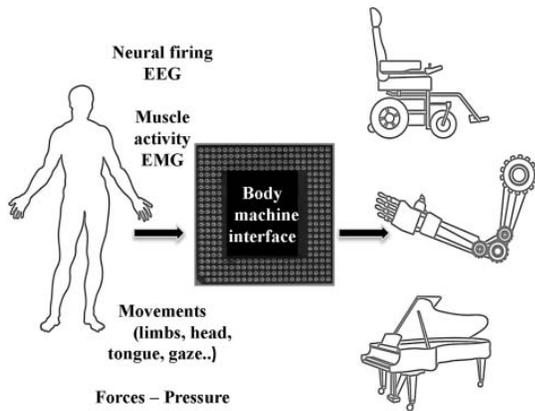


Fig. 4. Esquemática de una interfaz típica Cerebro-Máquina. Señales obtenidas mediante EEG, Electromiograma (EEM) y medición de fuerzas en las extremidades. [17]

Las Interfaces Cerebro Máquina son especialmente relevantes para los trastornos del movimiento como la parálisis grave, esclerosis lateral amiotrófica, o síndrome de locked-in, donde hay poca o ninguna capacidad de control de movimiento residual. Una característica notable de este proceso de reorganización es que los dispositivos de ayuda ya no se tratan como objetos externos anexos al cuerpo, sino que casi se convierten en una parte integral y esencial del cuerpo [25].

Incluso con niveles significativos de discapacidad, la gente todavía puede generar una serie de señales fisiológicas o de movimiento, que superan el número de variables de control necesarias para el funcionamiento de los dispositivos de ayuda y la interacción con el mundo externo. Estas señales definen un espacio de alta dimensión, donde un individuo puede elegir entre una gama de posibilidades para establecerse en subespacios de control de baja dimensionalidad para determinar una u otra señal de salida [17].

C.2 Control de Robots

Un tipo particular de ICM que ha recibido mucha atención y desarrollo en los últimos años es la capacidad de controlar robots humanoides mediante señales cerebrales directamente en una interfaz con la máquina, así también como la réplica del comportamiento cerebral humano en un cerebro artificial.



Fig. 5. Parte superior del robot humanoide ARMAR III [18].

Mediante el enfoque "Entender el cerebro mediante la creación de Cerebro" se expone que la única manera de entender completamente los mecanismos neurales en un sentido riguroso es mediante su reproducción en cerebros artificiales.

Un robot humanoide controlado por un cerebro artificial, que se implementa como software basado en modelos computacionales de las funciones cerebrales, parece ser la dirección más plausible para este propósito, dada la tecnología disponible actualmente, además de abrir al futuro una amplia gama de posibilidades de aplicación al incluir en los robots elementos de aprendizaje artificial básicos ("Aprendizaje por Observación", "Aprendizaje por Imitación", y "Aprendizaje por Demostración") [19].

C.3 Futuras Aplicaciones

Dada la creciente investigación y desarrollo de nuevas técnicas para la implementación de ICC, han surgido nuevas aplicaciones que acoplan este tipo de interfaces en nuestra vida diaria mediante dispositivos de Interfaz Aumentada Cerebro Computadora (ABCIs por sus siglas en inglés).

Un ABCI es similar a una ICC en el aspecto en donde se basan en biosensores, los cuales graban señales desde el cerebro en entornos cotidianos y éstas se procesan en tiempo real para monitorear el comportamiento del ser humano. Para utilizar una ABCI como una técnica de imagen cerebral móvil para todos los días, en aplicaciones de la vida real, los sensores y dispositivos correspondientes deben ser de peso ligero y el tiempo de respuesta de los equipos debe ser corto [20].



Fig. 6. Dispositivos de EEG Móviles disponibles en el mercado: (a) Emotiv, (b) NeuroSky, (c) Zeo, (d) Starlab, (e) EmSense, (f) Nia regulador del juego, (g) Mindo 4 con electrodos de espuma seca, y (h) Mindo 16 con sensores resistentes [20].

Como ya se ha demostrado en varios estudios publicados, es posible controlar un entorno virtual con una ICC [21], [22] y utilizarlo como un medio de evaluación para futuras investigaciones [3]. El control de juegos (principal eje de esta tecnología), cuidados en el hogar, e ingeniería para la

rehabilitación son posibles aplicaciones futuras de los ABCIs en las próximas décadas.

D. Problemas Actuales

En el campo de las Interfaces Cerebro Computadora, uno de los principales inconvenientes es clasificar el electroencefalograma (EEG) con precisión, ya que las señales presentan una buena resolución temporal, sin embargo, una baja resolución espacial [5].

Este inconveniente conlleva que para los sistemas BCI invasivas basadas en grabaciones de una sola neurona en aplicaciones clínicas, el mayor obstáculo es la imposibilidad de registrar las señales estables durante largos períodos de tiempo [24].

Otro de los problemas presentados en el análisis de las señales proporcionadas por el EEG es que incluso en la actualidad no está claro que las señales del cerebro pueden reflejar mejor una determinada acción. A diferencia de las habilidades motoras normales, estas nuevas habilidades ICC son ejecutados por las señales del cerebro en lugar de los músculos; obteniéndose un amplio espectro de señales que podrían sugerir la variedad de opciones existentes para realizar dicha acción.

III. CONCLUSIONES

El objetivo adecuado en el desarrollo de las ICC es encontrar las señales cerebrales precisas que el usuario puede controlar con seguridad, maximizar ese control, y traducirla en acciones implementadas en una interfaz para garantizar un máximo rendimiento de todos los procesos externos. Las ICC además de proveernos nuevas aplicaciones al control cerebral, ayudan en gran manera la comprensión de nuestro sistema neurológico, la transmisión de las señales en nuestro cerebro y la forma en que éstas son interpretadas.

En la actualidad el procesamiento de las señales de EEG no están únicamente confinadas a ambientes de laboratorio u hospitales; con la implementación de dispositivos portátiles que realicen estas funciones, se ha expandido enormemente el rango de aplicaciones posibles y cada vez es más factible al público en general acceder a ellas para seguir explorando las posibilidades de utilización de este tipo de interfaces hasta límites que tal vez aún no imaginamos.

A pesar de los problemas que puedan aún existir en el procesamiento de las señales EEG, y por ende en las ICC; se ha recorrido un gran camino en el desarrollo de este tipo de tecnología que sin duda nos llevará a ese panorama idealizado del futuro en donde todo nuestro entorno pueda ser controlado por algo más que las fuerzas mecánicas a las que estamos acostumbrados y podamos entrar en una nueva era en donde explotemos todo el potencial aún desconocido que poseemos los seres humanos en nuestro cerebro.

IV. REFERENCIAS

- [1] Wolpaw, J. R., Birbaumer, N., McFarland, D. J., Pfurtscheller, G., & Vaughan, T. M. (2002). Brain-computer interfaces for communication and control. *Clinical Neurophysiology*, 113, 767–791.
- [2] Kubler, A. and Müller, K.R., 2007. An introduction to brain-computer interfacing. In: *Toward brain-computer interfacing*, Cambridge, MA: MIT Press, 1–26.
- [3] Lee, R. Lee, F. Keinrath, C. Scherer, R. Bischof, H. Pfurtscheller, G. 2007. *Brain-Computer Communication: Motivation, Aim, and Impact of Exploring a Virtual Apartment*. IEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. Vol. 15, No 4.
- [4] Interfaz Cerebro Computadora. Acceso: 20 de diciembre de 2014. http://es.wikipedia.org/wiki/Interfaz_Cerebro_Computadora
- [5] Ricardo Aler , Alicia Vega , Inés M. Galván & Antonio J. Nebro (2012) *Multi-objective metaheuristics for preprocessing EEG data in brain-computer interfaces*, Engineering Optimization, 44:3, 373-390.
- [6] Lopes da Silva, F. Schomer, D. Niedermeyer's *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*. Lippincott Williams & Wilkins. October 2012.
- [7] Schalk, G. Leuthardt, E. *Brain-Computer Interfaces Using Electroencephalographic Signals*. Clinical Application Review. IEE Reviews in Biomedical Engineering. Vol. 4, 2011
- [8] Dornhege, G., et al., 2007. General signal processing and machine learning tools for BCI analysis. In: *Towards brain-computer interfacing*, Cambridge, MA: MIT Press, 207–234.
- [9] Grosse-Wentrup, M. Liefhold, C. Gramann, K. Buss, M. *Beamforming in Noninvasive Brain-Computer Interfaces*. IEE transactions on Biomedical Engineering. Vol. 56, No. 4. April 2009.
- [10] Wolpaw, J. R. (2009). Brain-computer interface. In L. Squire (Ed.), *Encyclopedia of neuroscience* (Vol. 2, pp. 429–437). Oxford: Academic Press.
- [11] N. Birbaumer, N. Ghanayim, T. Hinterberger, I. Iversen, B. Kotchoubey, A. Kübler, J. Perelmouter, E. Taub, and H. Flor, “A spelling device for the paralysed,” *Nature*, vol. 398, no. 6725, pp. 297–298, Mar. 1999.
- [12] J. D. R. Millán, F. Renkens, J. Mourriño, and W. Gerstner, “Noninvasive brain-actuated control of a mobile robot by human EEG,” *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 51, no. 6, pp. 1026–1033, Jun. 2004.
- [13] C. T. Moritz, S. I. Perlmutter, and E. E. Fetz, “Direct control of paralysed muscles by cortical neurons,” *Nature*, vol. 456, no. 7222, pp. 639–642, Dec. 2008.
- [14] Chang S. Nam (2012) *Brain-computer interface (BCI) and ergonomics*, Ergonomics, 55:5, 513-515.
- [15] Mitsuo Kawato (2008) *Brain controlled robots*, HFSP Journal, 2:3, 136-142.
- [16] Litvintsev, A. I. (1968). Search activity of muscles in the presence of an artificial feedback loop enclosing several muscles simultaneously. *Automation and Remote Control*, 29, 464–472.
- [17] Maura Casadio , Rajiv Ranganathan & Ferdinando A. Mussa-Ivaldi (2012) *The Body-Machine Interface: A New Perspective on an Old Theme*, Journal of Motor Behavior, 44:6, 419-433.
- [18] Kröger, Torsten. Wahl, Friedrich. *Advances in Robotics Research: Theory, Implementation, Application*. Springer. May 2009.
- [19] Miyamoto, H. Schaal, S. Gandolfo, F. Gomi, H. Koike, Y. Osu, R. Nakano, E. Wada, Y. and Kawato, M (1996). “A Kendama learning robot based on dynamic optimization theory.” *Neural Networks* 9, 1281–1302.
- [20] Lun-De Liao, Chin-Teng Lin, Kaleb McDowell, Alma E. Wickenden, Klaus Gramann, Tzzy-Ping Jung, Li-Wei Ko, Jyh-Yeong Chang. *Biosensor Technologies for Augmented Brain-Computer Interfaces in the Next Decades*. IEEE Invited paper. March 2012.
- [21] J. D. Bayliss and D. H. Ballard, “A virtual reality testbed for brain-computer interface research,” *IEEE Trans. Rehabil. Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 188–90, Jun. 2000.
- [22] G. Pfurtscheller, R. Leeb, C. Keinrath, D. Friedman, C. Neuper, C. Guger, and M. Slater, “Walking from thought,” *Brain Res.*, vol. 1071, no. 1, pp. 145–52, 2006.
- [23] L. R. Hochberg, M. D. Serruya, G. M. Friehs, J. A. Mukand, M. Saleh, A. H. Caplan, A. Branner, D. Chen, R. D. Penn, and J. P. Donoghue, “Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia,” *Nature*, vol. 442, no. 7099, pp. 164–171, Jul. 2006.

- [24] Seymour, W. (1998). *Remaking the body. Rehabilitation and change*. London, England: Routledge.

V. BIOGRAFÍAS



Melissa Montalvo, Estudiante de 5to ciclo de Ingeniería Electrónica en la Universidad Politécnica Salesiana.
Mail: mmontalvo11@est.ups.edu.ec