

# ICC Como Instrumento de Comunicación para Pacientes en Estado Vegetativo

A. Roman-Gonzalez, Member, IEEE

**Resumen**—El objetivo del presente artículo es introducir y presentar las interfaces cerebro-computador (BCI por sus siglas en inglés) como un sistema de comunicación con personas en estado vegetativo. Usando las señales de las funciones mentales creadas por el cerebro, podemos intercambiar preguntas y respuestas, tareas y reacciones y en general para interactuar con las personas con una pérdida de sus capacidades normales de comunicación. Para alguna definición, el estado vegetativo describe el comportamiento del observador. Una BCI normalmente es implementada usando electrodos para capturar las señales EEG para luego implementar procesos de extracción de características y finalmente aplicar métodos de clasificación.

**Palabras Clave**—BCI, procesamiento de señales EEG, estado vegetativo, comunicación y control, pensamiento.

## I. INTRODUCCION

DESDE hace unos años se viene investigando y desarrollando la tecnología que permite capturar las señales electroencefalograficas (EEG), procesarlas e interpretarlas para poder implementar una interface cerebro-computador o BCI por sus siglas en ingles (Brain – Computer Interface). En un inicio, estos sistemas fueron orientados a brindar un medio de comunicación a las personas discapacitadas que por diferentes motivos perdieron su capacidad motora; estos trabajos se puede observar por ejemplo en [1] donde el autor desarrolla un método para la interpretación de señales EEG y mover un cursor en la pantalla de un computador. En [2], [3], [4] y [5] se presentan los recientes avances relacionados con el desarrollo de los BCI, tanto el pre-procesamiento, métodos de extracción de características, procedimientos de clasificación e interpretación son descritos. Luego, los BCI también fueron orientados no solo a las personas discapacitadas, sino también a personas con las capacidades motoras intactas pero para aplicaciones en videojuegos, aplicaciones en robótica y misiones aeroespaciales, etc. tal como se menciona en [2], [3] y [6]. Ahora ultimo se están orientado las investigaciones relacionadas a los BCI para aplicaciones en comunicación con personas discapacitadas tal como se muestra en [7] y [8] donde se muestran los primeros avances en este tipo de aplicaciones.

Actualmente se cuenta con varios procedimientos y métodos para la implementación de los BCIs, como los descritos en [3], [5], [9], [10], [11]. El primer paso es poder entender las señales EEG, que es un registro y evaluación de los potenciales eléctricos generados por el cerebro y obtenidos por medio de electrodos situados sobre la superficie del cuero cabelludo. El electroencefalograma (EEG) es el registro de la actividad eléctrica de las neuronas del encéfalo. Las señales

EEG tiene diferentes ritmos dentro de la banda de frecuencia con las siguientes características: [1] [12]

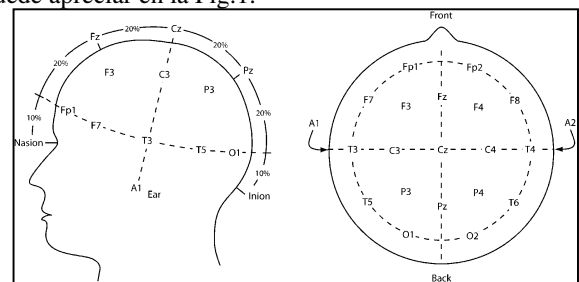
*Ritmo Alfa o Mu:* Voltaje bajo (20-60  $\mu\text{v}$  / 3-4mm) con morfología variable. Frecuencia alta (8-13 Hz).

*Ritmo Beta:* Voltaje bajo (10-15  $\mu\text{v}$  / 1-1.5 mm) con morfología variable. Frecuencia alta (13-25 ó + Hz).

*Ritmo Tetha:* Voltaje alto (50  $\mu\text{v}$  / 7mm). Frecuencia (4-8 Hz).

*Ritmo Delta:* Voltaje alto (70 -100  $\mu\text{v}$  / 9 -14 mm) con morfología variable. Frecuencia baja (4 ó - Hz).

Para fijar los electrodos en el cuero cabelludo, se cuenta con el sistema de posicionamiento internacional 10/20 el cual se puede apreciar en la Fig.1.



El presente articulo esta estructurado de la siguiente manera: en la Sección II se presenta la descripción de las interfaces cerebro-computado y el principio en el cual se basan. La Sección III presenta una definición y descripción de lo que es considerado clínicamente como estado vegetativo en las personas. Finalmente en la Sección IV se pueden encontrar la discusión y las conclusiones de si es factible la utilización de un BCI como medio de comunicación con personas en estado vegetativo.

## II. INTERFACE CEREBRO COMPUTADOR

Para la implementación de una Interfaz Cerebro-Computador (BCI) lo que se tiene que hacer es medir la actividad del cerebro a través de electrodos y capturando las señales EEG, se procesa esta señal de tal manera de identificar los diferentes patrones de pensamiento que puedan ser detectados y, por último, se comunica con el sistema externo que se desea controlar o con quien se desea comunicar, también es posible tener una etapa de retroalimentación que permita aprender y mejorar la comunicación. El diagrama de bloques general para un BCI se muestra en la Fig. 2.

A. Roman Gonzalez, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Universidad Andina del Cusco, Universidad Alas Peruanas; Perú.  
avid.roman-gonzalez@ieee.org

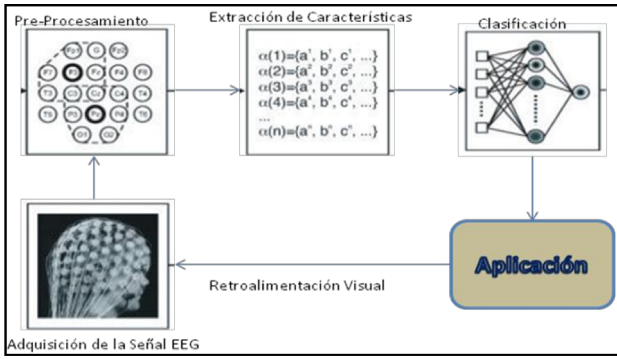


Fig. 2 Diagrama de bloques general para un BCI [2]

Dentro de las diferentes etapas que se puede observar en el diagrama de bloques, podríamos indicar que la etapa de extracción de características es una de las más críticas, ya que influirá de manera directa tanto el rendimiento como la precisión del algoritmo de clasificación utilizado posteriormente. Distintos criterios pueden ser observados a la hora de llevar a cabo el proceso de extracción de características y tenemos distintos métodos para realizar dicha tarea, entre ellas tenemos: Los parámetros autoregresivos utilizados en [1] [13], el promedio de la transformada rápida de Fourier (FFT) utilizado en [14] y [15], el promedio de la señal en el dominio del tiempo por ventanas utilizado en [15] y [16], análisis de componentes independientes en [17] y [18], etc.

Para la caracterización de la señal EEG es muy importante analizar el ritmo mu, que corresponde a una oscilación de la señal EEG comprendida entre los 8 y 13Hz, es captado en la zona sensorimotora situada en la región central del cuero cabelludo. Dicho ritmo, presente en la mayoría de los adultos, tiene la particularidad de presentar una atenuación en su amplitud cuando se lleva a cabo algún tipo de movimiento, o lo que es más importante cuando se tiene la intención de realizar algún movimiento, o sencillamente imaginando movimientos de las extremidades, tal y como se muestra en las Fig. 3 y Fig. 4. Es justamente este comportamiento el que debemos caracterizar mediante los distintos métodos mencionados como el basado en la transformada rápida de Fourier; el método basado en el cálculo de la potencia en el tiempo cuya formula es la siguiente:

$$PST = \frac{1}{N} \sum_{n \rightarrow 0}^N Y_t^2 \quad (1)$$

Donde:  $PST$  = Energía espectral de la señal.  
 $N$  = Numero de muestras por ventana.

Usando los parámetros adaptativos autoregresivos (AAR) tal como se presenta en [1] para representar las características, pues logramos una representación de la respuesta en frecuencia de la señal EEG. Un modelo AAR de orden  $p$  es escrita de la siguiente manera:

$$y(t) = a_1(t) * y(t-1) + \dots + a_p(t) * y(t-p) + x(t) \quad (2)$$

$$= a(t)^T * Y(t-1) + x(t)$$

La predicción de del error se calcula de la siguiente manera:

$$e(t) = y(t) - \hat{a}(t-1)^T * Y(t-1) \quad (3)$$

Para el cálculo de los parámetros existen bastantes métodos, en esta oportunidad utilizamos el método de Last-Mean-Squares (LMS) cuya formula esta dada por:

$$\hat{a}(t) = \hat{a}(t-1) + (UC/MSY) * e(t) * Y(t-1) \quad (4)$$

Donde:  $UC \rightarrow$  Coeficiente de Actualizacion = 0.0055

$$MSY \rightarrow$$
 Varianza de la Señal  $= \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N Y_t^2$

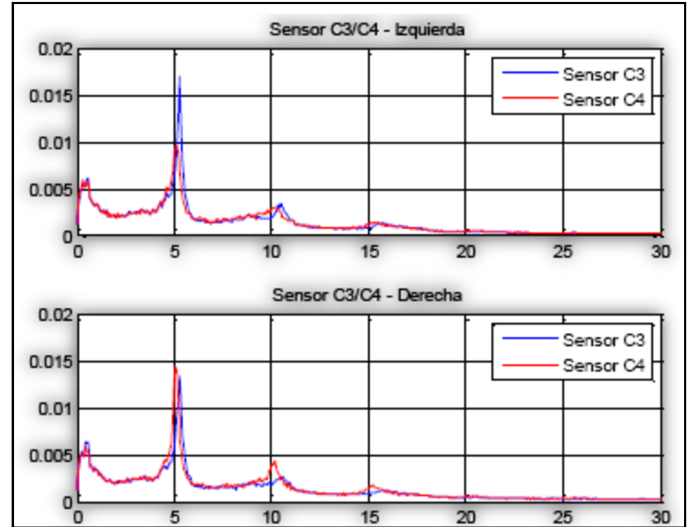


Fig. 3 Señales promedio de las pruebas elaboradas. Cuando se piensa en Izquierda, el sensor C4 ubicado en el lóbulo derecho experimenta una disminución de amplitud de la señal. Cuando se piensa en Derecha, el sensor C3 ubicado en el lóbulo izquierdo experimenta una disminución de la señal [15]

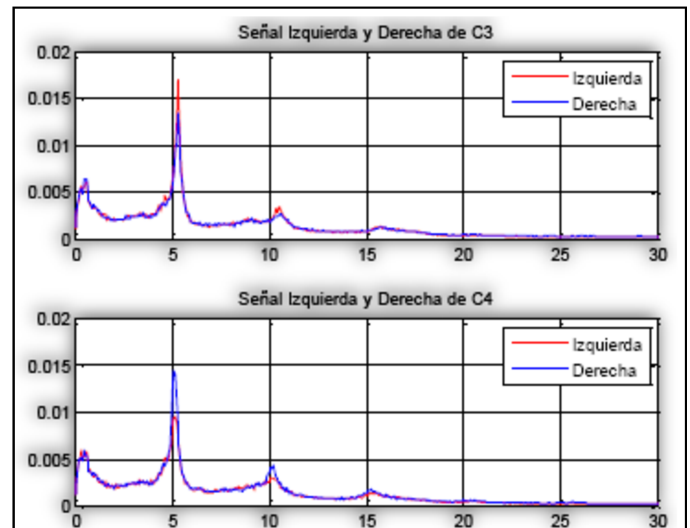


Fig. 4 Señales promedio de las pruebas elaboradas por Sensor. El sensor C3 muestra señales derechas con menor amplitud en comparación con la izquierda debido a que es el área que controla el lado derechos del cuerpo. El sensor C4 muestra señales izquierdas con menor amplitud en comparación con la derecha debido a que es el área que controla el lado izquierdo del cuerpo. [15]

La fase de clasificación es la tarea final del procesado. Para la entrada al algoritmo de clasificación justamente tenemos el conjunto de características extraídas en la etapa anterior y la salida es una interpretación del estado mental del usuario. Al igual que en el paso anterior, existen varios métodos para clasificar los datos, los cuales son explicados en cada uno de los artículos mencionados en las referencias, en especial en [15] y [19], entre ellos podemos mencionar:

- Red Neuronal Artificial
- Máquina de Soporte Vectorial (Support Vector Machine)
- Análisis Discriminante Lineal (Linear Discriminant Analysis)

### III. EL ESTADO VEGETATIVO

La definición del “Estado Vegetativo” según la definición del UK’s Royal College of Physicians nos dice que es un estado de falta de conciencia sobre uno mismo y sobre el entorno, en el que el paciente respira espontáneamente, con un estado circulatorio estable, con ciclos de vigilia y sueño. Además, la función hipotalámica y las funciones autonómicas del tronco del encéfalo deben estar conservadas.

El diagnóstico correcto para determinar un estado vegetativo es realmente difícil y normalmente requiere de largas observaciones en centros especializados. Algunos de estos pacientes, con una adecuada atención y rehabilitación, logran salir del estado vegetativo. Pero en muchos otros casos, permanecen en ese estado, incluso durante mucho tiempo y sin los soportes tecnológicos.

La definición más simplista para el diagnóstico del estado vegetativo de los pacientes, se puede basar en la falta de una señal que muestre una actividad cortical del cerebro, pero el debate está abierto para tomar o no tomar en cuenta ciertos comportamientos como una actividad cortical [20].

También sería bueno mencionar algunas definiciones del “Estado de Coma”, presentadas en [21]:

El “Coma”: proviene del griego “sueño profundo y permanente”, es el grado más severo de una perturbación del conocimiento y manifestación de una grave disfunción cerebral. El paciente no despierta ante estímulos externos ni reacciona ante el dolor. Su gravedad se determina con diferentes escalas. Hay diferentes tipos de coma y sus causas también pueden ser diversas: heridas en la cabeza, ataques de apoplejía, infecciones cerebrales, enfermedades cardiovasculares, intoxicaciones, exceso o falta de azúcar por diabetes, hipertensión arterial o fallos hepáticos. Es posible despertar del coma.

Coma Vigil: los pacientes tienen los ojos abiertos pero la mirada perdida. Normalmente no tienen conciencia, no pueden establecer contacto emocional ni responder al mismo. El tronco cerebral se encuentra todavía activo y la presión arterial, la respiración y muchos reflejos continúan regulados. Este tipo de coma suele ser consecuencia de una grave falta de oxígeno en el cerebro o por paro respiratorio y ataque de apoplejía. Estos pacientes pueden ser alimentados de forma

artificial. Se considera bastante improbable que recuperen la conciencia pasados tres meses. La mayor parte de los pacientes mueren debido a las complicaciones tras dos o tres años.

Muerte Cerebral: se paralizan de forma irreversible todas las funciones del cerebro, cerebelo y tronco cerebral. Las causas pueden ser heridas en el cráneo, hemorragias cerebrales o paralización de la circulación. El paciente no respira, pero su circulación sanguínea puede mantenerse a través de respiración artificial.

Analizando la actividad cerebral de los pacientes en estado vegetativo evaluados en [7], los cinco pacientes en mostraron actividad en la corteza lateral superior temporal en respuesta a las instrucciones auditivas, coherente con el procesamiento auditivo conservado sus características básicas. La activación auditiva fue muy variable.

### IV. DISCUSION Y CONCLUSIONES

En los diferentes trabajos relacionados con la implementación de sistemas BCI han mostrado que su realización es completamente factible y muestran muy buenos resultados aplicados a personas con pérdida severa de las capacidades motoras.

Las etapas de extracción de características y la de clasificación, son las fases más importantes dentro del sistema BCI sin dejar de lado las otras fases que también tienen su importancia.

Con el presente artículo se ha presentado la posibilidad de utilizar los sistemas BCI como un medio de comunicación con aquellas personas que se encuentran en estado vegetativo clínicamente hablando.

A pesar de que los resultados mostrados en otros trabajos, porcentualmente hablando son bajos, pues muestran ya una capacidad de comunicación con ciertos pacientes en estado vegetativo, lo cual conlleva a que deducir que ciertos pacientes conservan el funcionamiento mental del cerebro por lo que es posible comunicarse con ellos. Esto deriva en que se hace necesaria una nueva definición y clasificación para diagnosticar a los pacientes en estado vegetativo, por lo menos determinar una escala, ya que con algunos de ellos se puede lograr la comunicación mediante un BCI.

Es necesario continuar con la investigación en esta línea y poder realizar más pruebas con más pacientes respetando la ética profesional así como la dignidad humana de los pacientes.

### REFERENCIAS

- [1] A. Roman Gonzalez, “System of Communication and Control based on the Thought”, IEEE International Conference on Human System Interaction – I’10, Poland, May, 2010, pp. 275-280.
- [2] A. Roman Gonzalez, “Communication Technologies Based on Brain Activity”, World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing –WORLDCOMP 2010, Las Vegas, Nevada, USA, July 2010; pp. 864-869.
- [3] U. Hoffmann, J. Vesin, T. Ebrahimi, “Recent Advances in Brain-Computer Interfaces”, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (EPFL), Switzerland.

- [4] A. Roman-Gonzalez, "EEG Signal Processing for BCI Applications", *Human-Computer Systems Interaction: Backgrounds and Applications 2*, Springer, 2012, pp. 571-591.
- [5] C. Lecocq, F. Cabestaing, "Les Interfaces Cerveau-Machine pour la Palliation du Handicap Motor Severe", LAGIS – Laboratoire d'Automatique, Génie Informatique & Signal, Université des Sciences et Technologie de Lille, 2008.
- [6] Z. Ma, R. Millar, R. Hiromoto, A. Krings, "Logics in Animal Cognition: Are They Important to Brain Computer Interfaces (BCI) And Aerospace Mission", *IEEE AC*, 2010.
- [7] T. A. Bekinschtein, F. F. Manes, M. Villareal, A. M. Owon, V. Della-Maggiore. "Functional Imaging Reveals Movement Preparatory Activity in the Vegetative State", *Frontiers in Human Neuroscience*, January 2011.
- [8] D. Cruse, S. Chennu, C. Chatelle, T. A. Bekinschtein, D. Fernandez-Espejo, J. D. Pickard, S. Laureys, A. M. Owen. "Beside Detection of Awareness in the Vegetative State: A Cohort Study", *TheLanet*, November 2011, vol. 5, Article 5.
- [9] J. R. Wolpaw, N. Birbaumer, D. J. McFarland, G. Pfurtscheller, T. M. Vaughan, "Brain-Computer Interfaces for Communication and Control", *Clinical Neurophysiology* 113 (2002) – ELSEIVIER, pp. 767-791.
- [10] J. C. Lee, D. S. Tan, "Using a Low-Cost Electroencephalograph for Task Classification in HCI Research", *UIST 2006*, Montreux Switzerland.
- [11] S. Kuo-Kai, L. Po-Lei, L. Ming-Huan, L. Ming-Hong, L. Ren-Jie, Ch. Yun-Jen, "Development of a Low-Cost FPGA-Based SSVEP BCI Multimedia Control System", *IEEE Transaction on Biomedical Circuits and Systems*, vol. 4, N° 2, April 2010, pp. 125-132.
- [12] M. Kirby, "Some Mathematical Ideas for Attacking the Brain Computer Interface Problem", *Departement of Mathematics*, Colorado State University.
- [13] F. Faradji, R. K. Ward, G. E. Birch, "A Brain-Computer Interface Based on Mental Task with Zero False Activation Rate", *IEEE EMBS Conference on Neural Engineering*, April 2009, Turkey.
- [14] F. Alarid-Escudero, T. Solis-Escalante, E. Melgar, R. Valdes-Cristerna, O. Yañez-Suarez, "Registro de Señales de EEG para Aplicaciones de Interfaz Cerebro Computadora (ICC) Basado en Potenciales Evocados Visuales de Estado Estacionario (PEVEE)", *Universidad Autónoma Metropolitana, México*.
- [15] S. Córdova-Villar, W. A. Pérez-Oviedo, "Implementación de Métodos de Procesamiento de Señales EEG para su Análisis Comparativo en Aplicaciones de BCI", *Tesis de Ingeniería*, UNSAAC, Noviembre 2010..
- [16] G. Pfurtscheller, F. H. Lopes da Silva, "Event-related EEG/MEG Synchronization and Desynchronization: Basic Principles", *Clinical Neurophysiology* 110 (1999) 1842-1857, ELSEIVIER.
- [17] B. Kamousi, Z. Liu, B. He, "Classification of Motor Imagery Tasks for Brain-Computer Interface Applications by Means of Two Equivalent Dipoles Analysis", *IEEE Transaction on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 13, N° 2, pp. 166-171, June 2005.
- [18] A. Kachenoura, L. Albera, L. Senhadji, P. Comon, "ICA: A Potential Tool for BCI System", *IEEE Signal Processing Magazine* 2008, 25(1): 57-88.
- [19] K. Tavakolian, F. Vasefi, K. Naziripour, S. Rezaei, "Mental Task Classification for Brain Computer Interface Applications", *Canadian Student Conference on Biomedical Computing*.
- [20] B. Jennett, "The Vegetative State", *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 73, 2002, pp. 355-357.
- [21] "Caso Mubarak: Diferencia entre Coma y Muerte Cerebral", *Diario El Comercio*, Miércoles 20 de Junio, 2012.