



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN
DE INGENIEROS EN LA
ERA DIGITAL



DISEÑO DE UN SISTEMA CEREBRO-MAQUINA DE MIEMBRO SUPERIOR PARA LA ASISTENCIA A LA REHABILITACIÓN DE PERSONAS CON ACCIDENTE CEREBRO-VASCULAR

Alexander Rincón Jiménez, Catalina Aguirre Grisales, José Luis Rodríguez Sotelo

**Universidad Autónoma de Manizales
Manizales, Colombia**

Resumen

Los accidentes cerebrovasculares son una de las principales causas de mortalidad en el mundo, pero también es una de la que más genera dificultades a los sobrevivientes, afectando su calidad de vida y la de sus familiares; aunque la rehabilitación tradicional es la mejor forma para que estos pacientes recuperen su independencia perdida, esta puede llegar a ser poco eficaz, ya que las condiciones laborales de los expertos médicos hacen que los procedimientos no se realicen adecuadamente. Sin embargo, en los últimos años se han presentado una serie de desarrollos tecnológicos que podrían mejorar estos procesos como la sinergia entre las interfaces cerebro computador (BCI) y los dispositivos robóticos para rehabilitación, no obstante, hasta ahora no existe una combinación tecnológica, BCI – órtesis robótica, que permita mejorar los resultados en la recuperación del Accidente Cerebro Vascular (ACV) principalmente en miembro superior. En este trabajo se presenta el diseño de un sistema que combina las dos tecnologías y que tiene como objetivo asistir en la recuperación de ACV para la etapa subaguda.

Palabras clave: interfaz cerebro-computadora; rehabilitación asistida por robot; neurorehabilitación; neuroplasticidad; exoesqueleto robótico

Abstract

Strokes are one of the main causes of mortality in the world, but it is also one of the medical conditions that generate more difficulties in survivors, affecting their own and their relatives' quality

of life. Although traditional rehabilitation is the best way for these patients to recover their lost independence, this can be ineffective since the working conditions of the medical experts make the procedures not to be performed properly. However, in recent years there have been a series of technological developments that promise to improve these processes; technologies such as the synergy between brain computer interfaces (BCI) and robotic devices for rehabilitation. Nevertheless, so far there is not technological combination between the BCI and the robotic orthosis, which allows to improve the results in the recovery of the CVA and especially if it refers to superior members. This paper presents the design of a system that combines the two technologies and aims to assist in the recovery of CVA for the sub-acute stage

Keywords: *brain-computer interface; robotic assisted rehabilitation; neurorehabilitation; neuroplasticity; robotic exoskeletons*

1. Introducción

En el mundo los accidentes cerebrovasculares (ACV), afectan a un total de 16.9 millones de personas (Krishnamurthi, R., et al, 2015), sin embargo la cantidad de sobrevivientes es alta, lo que genera una carga por discapacidad de gran impacto socioeconómico que afecta a países con economía emergente (Norrving, B., et al 2015); se estima que, el ACV en los próximos años será la primera causa de morbilidad en el mundo, convirtiéndola en la principal causa de discapacidad (Rodríguez-Lázaro, Á, et al, 2016). Las secuelas en los sobrevivientes se presentan de forma neuromotora, sensitiva y cognitiva (Rodríguez-Lázaro, Á, et al, 2016), dejando al paciente en condición de vulnerabilidad y dependientes de terceras personas (Fang, Y, et al, 2017). Para mejorar la calidad de vida a largo plazo, las personas que sufren ACV deben iniciar los procesos de rehabilitación que le indique el especialista médico (Cuadrado, Á. A., 2009); Sin embargo, los especialistas por cuestiones sociales, políticas y fisiológicas al final de la jornada pueden tomar decisiones subjetivas perjudicando el desarrollo adecuado de los procesos de rehabilitación. Los recientes avances en las interfaces cerebro – computador (BCI) y en la rehabilitación asistida por robot podrían, a futuro, reducir la carga socioeconómica de la discapacidad y potenciar la restitución sensorio motora y la plasticidad del cerebro; ya que se pueden personalizar los procesos de asistencia a la necesidad de cada individuo y permitirles a los fisioterapeutas trabajar con más pacientes en el mismo periodo de tiempo asignado. Ambas tecnologías, de forma individual, tienen una serie de ventajas para los pacientes, sin embargo, integrarlas podría aumentar los beneficios, como se observa en los estudios realizados por (Ramos-Murguialday, et al, 2013) (Norman, S. L, et al, 2018) (Frolov, A. A, et al, 2017). A pesar de ello no existen muchos desarrollos ni investigaciones con aplicaciones hacia el ACV, donde su uso puede ser más beneficioso en etapa aguda o subaguda, ya que existe una alta posibilidad de regenerar y recuperar actividades sensoriomotoras a nivel anatomofisiológico, debido a la plasticidad del cerebro (Fresnedo, J. Q, et al, 2015), en especial si la recuperación se inicia en momentos cercanos al evento.

Por tal motivo este proyecto pretende unir ambos conceptos tecnológicos con el fin de desarrollar un sistema de asistencia a la rehabilitación del ACV en la etapa subaguda, ya que en ese punto el cerebro está intentando reacomodar las funciones en las partes no afectadas por el accidente. El sistema consta de un exoesqueleto rígido para rehabilitación en los dedos (Rincón Jiménez, A.,

2015), una BCI no invasiva, y una serie de protocolos y algoritmos que permiten integrar las tecnologías.

2. Materiales y Métodos

El desarrollo del sistema cerebro - máquina para la asistencia a la rehabilitación del ACV debe considerar aspectos como, el tipo exoesqueleto o órtesis robótica a utilizar, los equipos BCI a emplear y los protocolos de estimulación existentes. Con respecto al primero de ellos, los exoesqueletos para la asistencia en la rehabilitación, las acciones que se toman se centran en restaurar la movilidad funcional (Cramer, S. C, et al, 2017), para aprovechar la plasticidad neuronal del sistema nervioso central; esto se alcanza con una serie de tareas repetitivas que se programan, según sea el caso, y se acompañan de un experto (Bajaj, S, et al, 2015). La repetición periódica de las acciones de rehabilitación, son aprovechadas para integrar los conocimientos clásicos de la robótica en beneficio de los pacientes; a estas aplicaciones se les conocen como órtesis robóticas asistenciales y se usa en entornos cotidianos, como para cargar objetos o ayudar al desplazamiento personal (Quinto, L. P., et al, 2018) (Plaza Torres, M., et al, 2016) (Hamaya, M., et al, 2017); también existe otra categoría que se denominan robots terapéuticos y funcionan en entornos clínicos, estos equipos pueden ser de tipo activos que ayudan a generar resistencia al movimiento (Rahman, M. H., et al, 2014) o pasivos que asisten en el movimiento (Hansen, T. S., et al, 2018), generando desplazamiento en las extremidades.

Los diseños e investigaciones generadas de los robots terapéuticos se pueden catalogar en usos, según el miembro al que vaya direccionada su utilización, en forma general se dividen en exoesqueletos de miembro superior (Bai, S., 2017) e inferior (Young, A. J., & Ferris, D. P., 2017), sin embargo, es de aclarar que la mayoría solo se utilizan para investigación. Para este trabajo se propone la utilización de un exoesqueleto terapéutico rígido para miembro superior (Rincón Jiménez, A., 2015) para el ejercicio pasivo de los dedos de la mano, Imagen 1, el cual realiza movimientos de flexión y extensión por cada conjunto de dedos según sea la exigencia para el paciente y la programación del especialista, se debe a la necesidad de generar independencia para manipular o tomar objetos, debido a que la actividad en el brazo en conjunto con la de los dedos permite mejorar la respuesta en un paciente ya que una de las consecuencias más críticas del ACV, es la mano parética.



Imagen 1. Exoesqueleto rígido para ejercicio pasivo de los dedos

DISEÑO DE UN SISTEMA CEREBRO-MAQUINA DE MIEMBRO SUPERIOR PARA LA ASISTENCIA A LA REHABILITACIÓN DE PERSONAS CON ACCIDENTE CEREBRO-VASCULAR

El segundo de los aspectos, la Interfaz cerebro computador (Brain Computer Interfaces - BCI) para rehabilitación de extremidad superior, son canales de comunicación que conectan el cerebro con un dispositivo externo (Tong, S., & Thakor, N. V., 2009). En particular los sistemas BCI basan su funcionamiento en señales EEG, las cuales son registradas por medio de electrodos ubicados en el cuero cabelludo de acuerdo al estándar 10 - 20 (Minguillon, J., et al, 2017). La Imagen 2, describe la estructura general de un sistema BCI para rehabilitación de extremidad superior en pacientes con ACV. Este sistema está compuesto por una persona, una etapa de procesamiento y reconocimiento de patrones a través de diferentes técnicas, y finalmente un exoesqueleto (Pérez, M., & Luis, J., 2009). Este tipo de sistemas pueden ser desarrollados con interfaces BCI médicas y comerciales entre las que se pueden destacar el Emotiv EPOC+, OpenBCI, g.Nautilus, entre otros. El tercer aspecto, relacionado con los protocolos, se generan varias formas de leer las señales electrofisiológicas, entre ellos se encuentran: potenciales corticales lentos (SCPs), Ritmos sensoriomotores (SMR), potenciales relacionados a eventos (ERP), eventos relacionados con sincronización y desincronización, y potenciales evocados visuales (VEP) (Belardinelli, P., et al, 2017), su uso se relaciona directamente al tipo de rehabilitación, en la Tabla 1 se describen los principales aspectos de cada tipo de patrón de la señal EEG utilizado en rehabilitación de pacientes con ACV

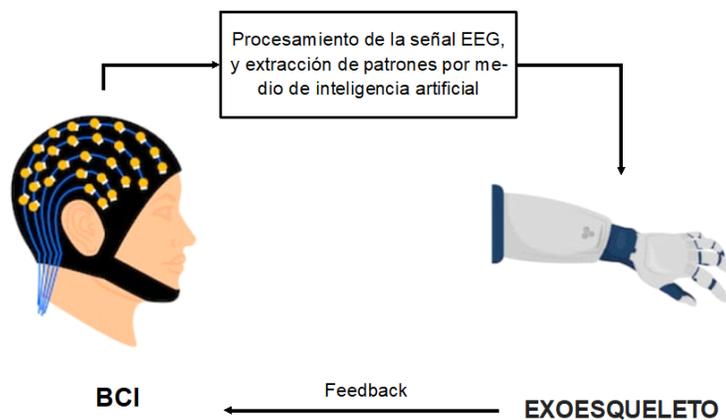


Imagen 2. Descripción de un sistema BCI para rehabilitación de extremidad superior en pacientes con ACV,

Tabla 1. Descripción de tipos de patrones de señales EEG utilizados en rehabilitación de ACV

Tipo de Patrón de la señal EEG	Descripción
Potenciales Corticales Lentos (SCPs)	Permiten al usuario activar voluntariamente partes del cerebro en actividades de procesamiento básico de palabras y movimiento de objetos en una pantalla. Las limitaciones que tiene este tipo de patrón cerebral son los largos periodos de entrenamiento, la atención de un profesional y el soporte técnico constante (Göksu, H., 2018).
Ritmos sensoriomotores (SMR)	Son ritmos cerebrales μ (8-12Hz) y β (12-30Hz), que generan registros en las áreas sensoriomotoras del cerebro asociadas a la ejecución de movimientos (Álvarez, F. V., et al, 2015). Dentro de los SMR se presentan dos eventos relacionados a desincronización /sincronización (ERD/ERS) los cuales proporcionan información sobre los instantes de

DISEÑO DE UN SISTEMA CEREBRO-MAQUINA DE MIEMBRO SUPERIOR PARA LA ASISTENCIA A LA REHABILITACIÓN DE PERSONAS CON ACCIDENTE CEREBRO-VASCULAR

	finalización de movimientos (Tabernig, C. B, et al, 2016). Los SMR son ampliamente usados en pacientes con discapacidades motoras, permitiéndoles mover punteros en pantallas u operar equipos ortopédicos (Botrel, L., et al, 2017).
Potenciales relacionados a eventos (ERP)	Los potenciales relacionados a eventos (ERP), son deflexiones positivas o negativas en la señal EEG en respuesta a un estímulo externo. El potencial evocado más utilizado es el P300, este es una deflexión positiva en la señal EEG que se presenta 300ms después del estímulo que lo genera. Este potencial es ampliamente empleado en los procesos de rehabilitación que requieren entrenamiento del sujeto (Sellers, E. W., et al, 2014).
Potenciales evocados Visuales (SSVEP)	Los potenciales evocados visuales, son deflexiones evocadas a través de procesos de concentración ante estímulos visuales (Carvalho, S. N, et al, 2015). Los SSEVP han sido ampliamente utilizados en el control prótesis y avatares virtuales (Yu, G., et al, 2017). Sin embargo, esta técnica se encuentra restringida a pacientes que hayan sufrido una enfermedad neurológica severa, ya que se requiere una alta capacidad de atención y visión.

3. Resultados y Discusión

Para el diseño del sistema cerebro - máquina de miembro superior, se deben considerar diversas alternativas que comprenden: los tipos de tecnologías BCI existentes en el mercado y el desarrollo del exoesqueleto; sin embargo, hay que conocer los principales aspectos de las BCI comerciales para integrarlas con un proceso de rehabilitación. En la Tabla 2, se realiza una comparación entre las interfaces BCI comerciales, donde se identifica que a pesar que todas son utilizadas en investigación, solo una de ellas es certificada para tal fin.

Tabla 2. Tabla comparativa Interfaces Cerebro computador comerciales

Dispositivo	Usos	Electrodos	Conectividad	otro
Emotiv EPOC+	Investigación (No certificado), entretenimiento	16 electrodos, 2 de referencia (MA1, MA2), 14 electrodos salinos (AF3, AF4, F3, F4, FC5, FC6, F7, F8, T7, T8, P7, P8, O1, O2)	Bluetooth de baja energía en la banda 2,4GHz Rango de transmisión de 5m	Acelerómetro de 3 ejes
OpenBCI	Investigación (No certificado), Entretenimiento	16 electrodos (FP1, FP2, F7, F3, F4, F8, T7, C3, C4, T8, P7, P3, P4, P8, O1, O2)	Bluetooth de baja energía en la banda 2,4GHz Rango de transmisión de 5m	
g.Nautilus 8/16/32/64	Investigación (Certificado)	8/16/32/64 electrodos húmedos / electrodos secos , distribución 10 - 20	Bluetooth de baja energía en la banda 2,4GHz, Rango de transmisión de 10m	Acelerómetro de 3 ejes

Las ortesis robóticas al ser, en muchos casos automatizadas, presentan la ventaja seguir un protocolo de rehabilitación determinado por el especialista los cuales en su mayoría están basados en imaginaria motora, haciendo que un proceso de recuperación se maneje según un plan trazado. Sin embargo, estas estructuras no se encuentran fácilmente en el mercado, dificultando los procesos

de evaluación de los dispositivos elaborados a nivel de investigación. Si bien el funcionamiento de estas tecnologías se comprueba en simuladores o están certificadas para su uso por un fabricante, ellas deben pasar por un estricto proceso de comprobación con un gran número de pacientes con y sin afecciones por ACV. Así mismo, los últimos estudios clínicos con interfaces BCI en rehabilitación de ACV (Tabla 3), muestran que los patrones EEG de preferencia son los SMR en los ritmos Mu y Beta, igualmente es evidente que en estos sistemas de rehabilitación no existe una metodología definida de clasificación, el cual varía de acuerdo a las necesidades de cada autor.

Tabla 3. Estudios clínicos que investigan BCI en rehabilitación de ACV

Estudios	BCI método	Feedback
Ivanova y otros (2018) (Extremidad superior) (Ivanova, G. E., et al, 2018)	EEG (SMR, Mu), IM, Clasificación de patrones basado en clasificadores bayesianos	Visual, kinestésico
Bundy y otros (2017) (Extremidad superior) (Bundy, D. T. et al, 2017)	EEG (SMR, Mu, Beta), IM, determinación del movimiento se realizó mediante una estimación espectral regresiva.	Visual, Propioceptivo
Naros y Gharabaghi (2016) (Extremidad superior) (Naros, G., & Gharabaghi, A. 2017)	EEG (SMR, Beta) IM, Clasificación de movimientos a través de modelos autorregresivos basados en el algoritmo Burg	Kinestésico, Propioceptivo
Bauer y otros (2015) (Extremidad superior) (Bauer, R. et al, 2015)	EEG (SMR, beta, alfa), IM, Clasificación del movimiento a través de la detección de desincronización de los SMR	Kinestésico, Visual, Visual motor

4. Conclusiones

El diseño de un sistema cerebro - máquina para miembro superior, requiere de la implementación de tecnologías BCI unida a una estructura robótica, conformando una sinergia mecatrónica que busca mejorar los resultados ya comprobados de la rehabilitación tradicional. En el proceso de diseño de este tipo de sistemas de rehabilitación se debe considerar el tipo de interfaz, la metodología en la que se debe basar el protocolo de estimulación, el tipo de algoritmo de clasificación y la realimentación que tendrá el paciente, Por otro lado, el exoesqueleto implementado requiere ser mejorado para una correcta rehabilitación del dedo pulgar, donde se debe adaptar la estructura original para completar el movimiento de flexión y extensión para todo el brazo, ya que dicha implementación mejoraría el proceso de rehabilitación de una persona con mano parética.

5. Referencias

- Álvarez, F. V., Rodríguez, A. F., Moya, S. V., & Angevin, R. R. (2015). CONTROL DE UNA SILLA DE RUEDAS MEDIANTE BCI. In *de 7° Simposio CEA de Bioingeniería*
- Bai, S., Christensen, S., & Islam, M. R. (2017, 07). An upper-body exoskeleton with a novel shoulder mechanism for assistive applications. *2017 IEEE International Conference on*

- Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*. doi:10.1109/aim.2017.8014156
- Bajaj, S., Butler, A. J., Drake, D., & Dhamala, M. (2015, 03). Functional organization and restoration of the brain motor-execution network after stroke and rehabilitation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9. doi:10.3389/fnhum.2015.00173
 - Bauer, R., Fels, M., Vukelić, M., Ziemann, U., & Gharabaghi, A. (2015, 03). Bridging the gap between motor imagery and motor execution with a brain–robot interface. *NeuroImage*, 108, 319-327. doi:10.1016/j.neuroimage.2014.12.026
 - Belardinelli, P., Laer, L., Ortiz, E., Braun, C., & Gharabaghi, A. (2017). Plasticity of premotor cortico-muscular coherence in severely impaired stroke patients with hand paralysis. *NeuroImage: Clinical*, 14, 726-733. doi:10.1016/j.nicl.2017.03.005
 - Botrel, L., Acqualagna, L., Blankertz, B., & Kübler, A. (2017, 11). Short progressive muscle relaxation or motor coordination training does not increase performance in a brain-computer interface based on sensorimotor rhythms (SMR). *International Journal of Psychophysiology*, 121, 29-37. doi:10.1016/j.ijpsycho.2017.08.007
 - Bundy, D. T., Souders, L., Baranyai, K., Leonard, L., Schalk, G., Coker, R., . . . Leuthardt, E. C. (2017, 07). Contralesional Brain–Computer Interface Control of a Powered Exoskeleton for Motor Recovery in Chronic Stroke Survivors. *Stroke*, 48(7), 1908-1915. doi:10.1161/strokeaha.116.016304
 - Carvalho, S. N., Costa, T. B., Uribe, L. F., Soriano, D. C., Almeida, S. R., Min, L. L., . . . Attux, R. (2015, 04). Effect of the combination of different numbers of flickering frequencies in an SSVEP-BCI for healthy volunteers and stroke patients. *2015 7th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER)*. doi:10.1109/ner.2015.7146564
 - Cramer, S. C., Wolf, S. L., Adams, H. P., Chen, D., Dromerick, A. W., Dunning, K., . . . Broderick, J. P. (2017, 03). Stroke Recovery and Rehabilitation Research. *Stroke*, 48(3), 813-819. doi:10.1161/strokeaha.116.015501
 - Cuadrado, Á. A. (2009). Rehabilitación del ACV: evaluación, pronóstico y tratamiento.
 - *Galicia Clínica*, 70(3), 25-40.
 - Fang, Y., Tao, Q., Zhou, X., Chen, S., Huang, J., Jiang, Y., . . . Chan, C. C. (2017, 02). Patient and Family Member Factors Influencing Outcomes of Poststroke Inpatient Rehabilitation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 98(2). doi:10.1016/j.apmr.2016.07.005
 - Fresnedo, J. Q., Olmos, R. S., Hernández, S. L., Zavala, R. P., Uriostegui, I. Q., Salazar, C. S., . . . Santana, M. T. (2015, 01). Efectos a corto plazo del entrenamiento de la marcha en una órtesis robótica (Lokomat®) con retroalimentación auditiva en pacientes con lesión medular incompleta crónica. *Rehabilitación*, 49(1), 30-37. doi:10.1016/j.rh.2014.10.002
 - Frolov, A. A., Mokienko, O., Lyukmanov, R., Biryukova, E., Kotov, S., Turbina, L., . . . Bushkova, Y. (2017, 07). Post-stroke Rehabilitation Training with a Motor-Imagery-Based Brain-Computer Interface (BCI)-Controlled Hand Exoskeleton: A Randomized Controlled Multicenter Trial. *Frontiers in Neuroscience*, 11. doi:10.3389/fnins.2017.00400
 - Göksu, H. (2018, 07). BCI oriented EEG analysis using log energy entropy of wavelet packets. *Biomedical Signal Processing and Control*, 44, 101-109. doi:10.1016/j.bspc.2018.04.002
 - Hamaya, M., Matsubara, T., Noda, T., Teramae, T., & Morimoto, J. (2017, 11). Learning assistive strategies for exoskeleton robots from user-robot physical interaction. *Pattern*

- Recognition Letters*, 99, 67-76. doi:10.1016/j.patrec.2017.04.007
- Hansen, T. S., Bitikofer, C. K., Sobbi, B. E., & Perry, J. C. (2018, 10). Design of Mobile Digit Assistive System (MIDAS): A Passive Hand Extension Exoskeleton for Post Stroke Rehabilitation. *Biosystems & Biorobotics Wearable Robotics: Challenges and Trends*, 535-539. doi:10.1007/978-3-030-01887-0_104
 - Ivanova, G. E., Bushkova, Y. V., Suvorov, A. Y., Stahovskaya, L. V., Dzhalogoniya, I. Z., Varako, N. A., . . . Bushkov, F. A. (2018, 11). Use of a BCI-Exoskeleton Simulator with Multichannel Biofeedback in a Multidisciplinary Rehabilitation Program in Poststroke Patients. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 48(9), 1100-1105. doi:10.1007/s11055-018-0673-6
 - Krishnamurthi, R. V., Moran, A. E., Feigin, V. L., Barker-Collo, S., Norrving, B., Mensah, G. A., . . . Roth, G. A. (2015). Stroke Prevalence, Mortality and Disability-Adjusted Life Years in Adults Aged 20-64 Years in 1990-2013: Data from the Global Burden of Disease 2013 Study. *Neuroepidemiology*, 45(3), 190-202. doi:10.1159/000441098
 - Minguillon, J., Lopez-Gordo, M. A., & Pelayo, F. (2017, 01). Trends in EEG-BCI for daily-life: Requirements for artifact removal. *Biomedical Signal Processing and Control*, 31, 407-418. doi:10.1016/j.bspc.2016.09.005
 - Naros, G., & Gharabaghi, A. (2017, 03). Physiological and behavioral effects of β -tACS on brain self-regulation in chronic stroke. *Brain Stimulation*, 10(2), 251-259. doi:10.1016/j.brs.2016.11.003
 - Norman, S. L., McFarland, D. J., Miner, A., Cramer, S. C., Wolbrecht, E. T., Wolpaw, J. R., & Reinkensmeyer, D. J. (2018, 08). Controlling pre-movement sensorimotor rhythm can improve finger extension after stroke. *Journal of Neural Engineering*, 15(5), 056026. doi:10.1088/1741-2552/aad724
 - Norrving, B., Davis, S. M., Feigin, V. L., Mensah, G. A., Sacco, R. L., & Varghese, C. (2015). Stroke Prevention Worldwide - What Could Make It Work. *Neuroepidemiology*, 45(3), 215-220. doi:10.1159/000441104
 - Plaza Torres, M., Aperador Chaparro, W., & Cifuentes Bernal, A. (2016). Diseño de órtesis
 - activa para cirugías prolongadas. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 35(1), 91-101
 - Pérez, M., & Luis, J. (2009). Comunicación con computador mediante señales cerebrales.
 - Aplicación a la tecnología de la rehabilitación (Doctoral dissertation, Ph. D. thesis, Universidad Politécnica de Madrid).
 - Quinto, L. P., Gonçalves, S. B., & Silva, M. T. (2018, 10). Design of a Passive Exoskeleton to Support Sit-to-Stand Movement: A 2D Model for the Dynamic Analysis of Motion. *Biosystems & Biorobotics Wearable Robotics: Challenges and Trends*, 299-303. doi:10.1007/978-3-030-01887-0_57
 - Rahman, M. H., Luna, C. O., Rahman, M. J., Saad, M., & Archambault, P. (2014). Force-position control of a robotic exoskeleton to provide upper extremity movement assistance. *International Journal of Modelling, Identification and Control*, 21(4), 390. doi:10.1504/ijmic.2014.062026
 - Ramos-Murguialday, A., Broetz, D., Rea, M., Läer, L., Yilmaz, Ö, Brasil, F. L., . . . Birbaumer, N. (2013, 07). Brain-machine interface in chronic stroke rehabilitation: A controlled study. *Annals of Neurology*, 74(1), 100-108. doi:10.1002/ana.23879
 - Rincón Jiménez, A. (2015). Prototipo de exoesqueleto para la rehabilitación motora de los

- dedos de la mano humana (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Manizales. <http://hdl.handle.net/11182/30>
- Rodríguez-Lázaro, Á, & Ortiz-Corredor, F. (2016, 04). Cambios en la recuperación de la función motora en pacientes con accidente cerebrovascular crónico. *Iatreia*, 29(2). doi:10.17533/udea.iatreia.v29n2a02
- Sellers, E. W., Ryan, D. B., & Hauser, C. K. (2014, 10). Noninvasive brain-computer interface enables communication after brainstem stroke. *Science Translational Medicine*, 6(257). doi:10.1126/scitranslmed.3007801
- Tabernig, C. B., Carrere, L. C., Lopez, C. A., & Ballario, C. (2016, 04). EEG Event-Related Desynchronization of patients with stroke during motor imagery of hand movement. *Journal of Physics: Conference Series*, 705, 012059. doi:10.1088/1742-6596/705/1/012059
- Tong, S., & Thakor, N. V. (2009). Quantitative EEG analysis methods and clinical
 - applications. Artech House.
- Young, A. J., & Ferris, D. P. (2017, 02). State of the Art and Future Directions for Lower Limb Robotic Exoskeletons. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 25(2), 171-182. doi:10.1109/tnsre.2016.2521160
- Yu, G., Wang, J., Chen, W., & Zhang, J. (2017, 11). EEG-based brain-controlled lower extremity exoskeleton rehabilitation robot. *2017 IEEE International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) and IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM)*. doi:10.1109/iccis.2017.8274875

Sobre los autores

- **Alexander Rincón Jiménez:** Ingeniero Electrónico. Universidad Antonio Nariño (2007). Magister en Mecatrónica y Control. Universidad Autónoma de Manizales (2015). Doctorado en Ingeniería, Universidad Autónoma de Manizales (en curso). alexander.rinconj@autonoma.edu.co
- **Catalina Aguirre Grisales:** Ingeniera Electrónica. Universidad del Quindío (2010). Magister en Ingeniería Eléctrica. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Brasil (2014). Doctorado en Ingeniería, Universidad Autónoma de Manizales (en curso). catalina.aguirreg@autonoma.edu.co
- **José Luis Rodríguez Sotelo:** Ing., M.Sc. Ph.D., Ingeniero Electrónico con maestría (2004) y doctorado en automática (2010), Director General del Doctorado en Ingeniería Universidad Autónoma de Bucaramanga, Occidente y Autónoma. jlrodriguez@autonoma.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)