

PAIN 2017

Programa de apoyo a la iniciación en la investigación

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:

Implementación del paradigma neurocognitivo en la diferenciación del movimiento real e imaginado.

AUTORES:

Ccasane Vargas, Bryan José (1)
Miranda Llanos, Camilo Emmanuel (2)

FACULTAD - ESPECIALIDAD:

(1) Psicología – Psicología Social
(2) Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Electrónica

DOCENTE ORIENTADOR(A):

Dávila Dávila, Alex Ernesto

AÑO (*):

2018

(*) Año de finalización de la investigación

Relación entre el movimiento real e imaginado: Desarrollo de experimentación preliminar

Ccasane Vargas, Bryan José
Pontificia Universidad Católica del Perú

Miranda Llanos, Camilo Emmanuel
Pontificia Universidad Católica del Perú

Abstract— El siguiente trabajo tuvo como objetivo identificar la relación entre el movimiento real e imaginado a través de pruebas de electroencefalograma. Para ello, se realizaron ensayos de movimiento de dedos aplicando movimiento real y movimiento imaginado, además de una condición control. Los resultados mostraron diferencias significativas en ninguna de las tres condiciones, por lo que no puede interpretarse si

Index Terms— Imaginería, Electroencefalografía, Movimiento.

I. INTRODUCCIÓN

La imagería motora es definida como el “procedimiento de imaginar el movimiento de un miembro hacia la izquierda o hacia la derecha, al tiempo que se adquiere el EEG del sujeto, sin que este movimiento se produzca realmente” [1]. Si bien esta descripción resulta ser simple, el proceso cognitivo que se debe realizar es relativamente complejo, puesto que involucra simular escenarios mentalmente [2]. Es decir, involucra analizar y establecer conclusiones sobre un evento inexistente y [3]. Por ello, la edad es considerada como un factor determinante en este proceso [4] [5].

El movimiento imaginario puede tomar dos formas: siendo visualizado desde una perspectiva de primera persona o kinestésica, o imaginado desde una perspectiva de tercera persona [6]. Ya que se encuentra dentro del tópico de imaginación y cognición [7]; el movimiento imaginado se encuentra influenciado con procesos cognitivos relacionados con la atención, la planificación [8] o la imaginación [6] [9].

El movimiento imaginado es medido por diferentes técnicas electrofisiológicas. Una de las más útiles es el electroencefalograma (EEG), el cual es una técnica médica de imagen que capta la actividad cerebral por medio de señales bioeléctricas y localiza en qué zonas se producen [10]. Su eficiencia radica en la susceptibilidad de captar interferencias o impulsos ocasionados por corrientes eléctricas [11]. Sin embargo, se encuentra limitada por la actividad espontánea del cerebro que puede ocurrir durante esta prueba [12].

Investigaciones de esta índole son insumos para aplicaciones de patrones que reaccionen a ondas cerebrales, específicamente, como la interfaz cerebro-computadora [10]. El BCI (Brain-Computer interface) es un tipo de

comunicación que utiliza señales EEG, la cual consiste en crear sistemas que procesan imágenes de cerebro a través de la conexión natural entre humanos y diferentes sistemas físicos, además de extraer información cognitiva y emocional del usuario [11].

El estudio de BCI se dedica básicamente a desarrollar herramientas y técnicas para ayudar a personas con discapacidad e inhabilitadas en comunicarse con el mundo exterior, lo cual incluye a pacientes que no pueden controlar su función motora debido a lesiones en la médula espinal o trastornos neurológicos como la esclerosis lateral amiotrófica (ALS por sus siglas en inglés) que eventualmente conducen a la pérdida de la habilidad motora en donde el único órgano controlable y comunicable es el cerebro [13].

El objetivo de BCI es obtener potenciales de eventos relacionados (ERP), que puedan ser observados y manipulados a través de dispositivos de recepción de neuroimagen [11]. El análisis de eventos relacionados (ERP), junto con análisis de sincronización y desincronización (ERS/ERD) pueden revelar cambios en la magnitud de oscilaciones corticales en una zona específica, relacionada con el movimiento ocular o imaginado [14] [15] [16].

Actualmente se desarrollan sistemas BCI de dos tipos generalmente según la naturaleza de la señal de entrada. De acuerdo con Hornero y colegas [17], dichos sistemas dependen de la capacidad de la persona para el control de su actividad fisiológica; lo que requiere entrenamiento, además de actividades electrofisiológicas evocada por estímulos externos; las cuales no necesitan de una etapa intensiva de entrenamiento. Un ejemplo de este último es el basado en potenciales evocados P300 (Steady State Visual Evoked Potentials, SSVEP) [17].

Entre las aplicaciones que se realizan con estos sistemas BCI se encuentra el desarrollo de control doméstico empleando los mencionados Analysis, SWLDA) [18].

Desde el campo de la psicología aplicada a la educación y el deporte, se ha tomado en cuenta el movimiento imaginado como facilitador de aprendizaje e indicador de desarrollo y/o deterioro motor. Por un lado, cualquier tipo de imagería mental puede ser considerada como un tipo de memoria declarativa, el cual puede ser almacenado dentro de los recuerdos [19] [20], y puede ser evocado desde la memoria de trabajo [4] [21] [22]. De esta manera, el movimiento imaginado puede ayudar en la preparación y el entrenamiento que facilita el proceso de aprendizaje en cuanto se refiere a ejecuciones motoras [23] [24]. Asimismo, en una investigación se propone la idea que la imagería mental y la praxis motora están sujetas a mismos factores fisiológicos

[25]. Esto quiere decir, que el movimiento real y el imaginado pueden seguir el mismo proceso cognitivo [25].

Desde el campo de las neurociencias, existe la hipótesis que el movimiento imaginario es similar a la actividad física, puesto que ambos generan cambios estructurales en el cerebro [26]. Por un lado, diferentes investigaciones sugieren que puede existir una relación entre el movimiento real y el imaginado al ser analizados a través de un electroencefalograma [27] [28]. En otros artículos, y apoyando lo anteriormente dicho, diferentes autores hallaron similitudes entre las zonas del cerebro que se activaban durante el proceso de movimiento real e imaginado a través de medidas indirectas; como la resonancia magnética funcional o la tomografía por emisión de positrones [29] [30] [31] [32]. Asimismo, la ejecución repetitiva del movimiento imaginado puede dirigirse a tener las modificaciones en el cerebro de forma similar a que si es realizado de forma física [33]. Asimismo, en capturas realizadas por medio del MEG se encontró evidencia que da soporte a los hallazgos anteriormente descritos [15] [34].

No obstante, en otros trabajos [12] [34] [35], se encuentra que existen cambios de sincronización entre el movimiento real e imaginado. Principalmente, estos cambios se encuentran en variaciones entre las ondas alfa y beta por medio del encefalograma [12]. Asimismo, otros estudios diferencias entre las activaciones cerebrales, principalmente que el movimiento real involucraba mayor activación en el hemisferio contralateral, mientras que el movimiento real fue menor observado desde una señal ERD [34]. Por otro lado, el patrón de activación fue más generalizado durante la ejecución del movimiento imaginado, lo que puede sugerir una red de activación más amplia [34] [35]. Por su parte, otros autores [6] hallaron que el movimiento real y virtual era semejante si se tomaba en cuenta el grado de isocronía que presentaban a través de sensores, pero dispares al tomar medidas de isometría. Otros autores explican que el grado de imaginación de cada persona (expertos y novatos) va a influir en zonas visoespaciales del cerebro en la ejecución del movimiento imaginado, y que esto podría afectar al tratar de compararlo con el movimiento real [9] [36].

En resumen, puede decirse que los datos no terminan por ser concluyentes. Parte de los datos obtenidos dependen principalmente de la herramienta que se utilice y el algoritmo que se encuentra en el sistema para identificar los patrones en las señales [2] [26] [34]. Asimismo, en algunos estudios no existe un consenso sobre la definición de movimiento imaginado, llegando a ser divergentes en algunos casos, lo que dificulta la interpretación consistente de los datos [2]

Por otro lado, es posible que esta disparidad de resultados se deba por problemas en el aislamiento de variables de patrones a través del EEG. En algunos artículos han formulado matemáticamente la probabilidad de activación complementaria entre el área involucrada con la mano y el pie, puesto que se ha encontrado desincronización en el área de la mano, pero sincronización del pie [12]. Asimismo, otros estudios han encontrado que otros sentidos intervienen en la realización y desempeño del movimiento imaginado [2]. Específicamente, se han encontrado resultados que sugieren la influencia de la percepción visual en el desempeño motor y en

el entrenamiento imaginado [37] [38]. Actualmente, este tópico aún se encuentra en desarrollo [39].

Sobre la base de lo anteriormente mencionado, puede decirse que estudios sobre movimiento imaginado son de suma relevancia tanto en el campo académico como clínico. Específicamente, se puede aplicar en el tratamiento contra la hemiparesia, la cual consiste en la pérdida de fuerza y/o parálisis de alguna extremidad del cuerpo [12]. Asimismo, estudios sobre este campo pueden ser útiles para la fabricación de biomarcadores o en otro tipo de indicador biológico [26]. Por ello, el objetivo de la presente, se busca identificar diferencias entre el movimiento real e imaginado por medio de las señales en electroencefalograma.

II. MÉTODO

A. Participantes

La muestra fue conformada por 6 personas (2 mujeres, 4 varones), las cuales fueron captadas de manera intencional y voluntaria. Por otro lado, la edad promedio de los participantes fue de 22.67 años con una desviación estándar de 1.03. Como criterios de inclusión para participar en la investigación, se verificó que las personas gocen de buena salud y no tengan historial clínico de enfermedades neurológicas o mentales por medio de una ficha sociodemográfica [12], [34].

B. Medición

Las señales electroencefalográficas fueron registradas por medio del sistema BIOPAC MP 160 (Biopac Systems) conectado a un amplificador EEG100C que permitió tratar señales eléctricas capturadas por electrodos; los cuales fueron posicionados de acuerdo al Sistema Internacional 10-20 planteado por Jasper [40] [41].

Las señales captadas fueron amplificadas con una ganancia de 50000. Por otro lado, el equipo fue configurado para generar tasas de muestreo de 2000 datos por segundo. También, se aplicaron filtros en línea de pasa bajo y alto teniendo como frecuencias de corte 30Hz y 0.5 Hz respectivamente [41].

De esta manera, la actividad eléctrica del cerebro fue medida con el mencionado sistema colocando un electrodo en la posición C3. Asimismo, el electrodo ubicado en la posición del lóbulo frontal (Fz) fue utilizado como referencia; mientras que el electrodo Fpz se tomó como punto a tierra. Por último, se registró que la impedancia tuviera valores menores a 5k Ω entre cada par de electrodos, tomando en cuenta el criterio de diferentes investigaciones [10] [12] [41] [42].

C. Procedimiento

El procedimiento es una adaptación al trabajo de Paredes [40]. El presente trabajo fue realizado en el laboratorio de Bioingeniería entre las 14:00 y las 18:00 horas. Los participantes fueron examinados en tres condiciones experimentales y aleatorizadas: imaginado, real y control. Los movimientos consistieron en la práctica del movimiento de flexión a una frecuencia de 2Hz, la cual fue controlada por medio de un metrónomo digital. La duración de la tarea fue de 4 segundos y constó de 8 toques de dedos, en la cual el participante toca los dedos índices, medio, anular y meñique con la punta del dedo pulgar con ambas manos de manera

secuencial [41]. Asimismo, la práctica de estos movimientos que realizó el participante fue con los ojos cerrados para anular la influencia de estímulos visuales [2].

De esta forma, cada tuvo una duración de 14 segundos y fue repetido 40 veces para cada condición. Dicha actividad fue realizada con el fin de obtener suficientes datos analizar las señales y poder calcular la desincronización relacionada a eventos [41] [43].

D. Análisis de datos

Los datos obtenidos fueron procesados con el software libre EEGLAB (v.14.1.1), una extensión del programa Matlab, el cual permite el estudio de datos de EEG [41], [44]. Antes de comenzar con los análisis, se segmentaron los datos de EEG de 14 segundos a 40 ensayos correspondientes a las condiciones de movimiento real, imaginado y la situación de reposo respectivamente.

De acuerdo con estudios previos, se descartaron los ensayos que contenían artefactos utilizando el método de la probabilidad [41]; así como que presentaban valores de voltaje por encima o por debajo de tres desviaciones estándares con respecto a la media [41]. Para el cálculo de datos se utilizó la transformación de tiempo frecuencia para las diferentes condiciones experimentales. Al aplicar dicha herramienta, se pudieron recoger las ondas de forma no continua de la situación de movimiento real, imaginado y control respectivamente. De esta forma, se analizaron los datos obtenidos en la fase de movimiento real e imaginado (entre el segundo 4 y 8 de cada ensayo) en las bandas de frecuencia alfa y beta de acuerdo a diferentes estudios [12]. Sobre este punto, se realizaron comparaciones no paramétricas entre las diferentes condiciones utilizando el estadístico de Wilcoxon [41].

III. RESULTADOS

A continuación, se presentarán los resultados para el objetivo de esta investigación. Primero, se presentarán los resultados obtenidos sobre las interacciones entre las condiciones experimentales en relación a cada frecuencia de onda. Luego, se detallarán los datos encontrados al comparar las condiciones de movimiento real, imaginado y la situación de descanso. En la tabla 1 se muestran los datos descriptivos de las variables que serán usadas en el análisis.

Ondas	Mediana		
	Descanso	Real	Imaginado
Alfa	19.37	15.9	15.32
Beta	14.89	10.96	7.41

TABLA I
DATOS DESCRIPTIVOS

En este caso, se puede observar que los datos obtenidos en la situación real poseen el menor puntaje, tanto para las ondas alfa como beta. En cambio, los datos obtenidos en la ejecución del movimiento real recibieron los puntajes más bajos en ambas frecuencias de onda.

Con respecto a las pruebas paramétricas en las ondas alfa se observa que no hay diferencias entre el desempeño del

movimiento real e imaginado ($Z=-1.87$; $p>0.05$). No obstante, tampoco existen diferencias entre la situación control con el movimiento imaginado ($Z=-1.85$; $p>0.05$), con el movimiento real ($Z=-1.8$; $p>0.05$).

De la misma manera, en las ondas beta tampoco se encontraron diferencias significativas entre el desempeño del movimiento real e imaginado ($p>0.05$). Sin embargo, comparando la situación de reposo con los dos tipos de movimientos no se manifiestan diferencias relevantes.

IV. DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados de los análisis que se realizaron para dar respuesta a los objetivos de la presente investigación. La presente investigación tuvo como objetivo principal identificar diferencias entre el desempeño del movimiento real comparado con el movimiento imaginado. La hipótesis sostenida es que no habría diferencia entre ambas condiciones, puesto que siguen un mecanismo neurocognitivo similar [25]. Con respecto a los datos analizados, puede decirse que no hay evidencia concluyente sobre la influencia del movimiento imaginado en relación al movimiento real; principalmente porque tampoco se encontraron diferencias con la situación control.

Dichos resultados contradicen lo propuesto la idea que el movimiento real se diferencia del movimiento imaginado por mayor activación [12] [31] [41]. También contradice la postura que el desempeño del movimiento imaginado depende del tipo de frecuencia donde se exploran los resultados [6], puesto que dicho fenómeno se registró tanto en ondas alfa como en beta.

Es probable que el instrumento utilizado también pudo afectar los resultados. Las técnicas de neuroimagen como fMRI y otras técnicas de EEG de cuero cabelludo no registran de forma relevante la activación de movimiento imaginado [30]. No obstante, en técnicas de estimulación magnética transcraneal podrían evidenciarse de forma confiable [6], [45].

Por otro lado, es posible que el área motora primaria no es la zona más relevante para analizar el movimiento imaginado [6] [31] [46] [47] [48]. Diferentes investigaciones proponen que el área parietal presenta datos más robustos [30]. Como conclusión, la inclusión del área motora primaria en el estudio del movimiento se encuentra en debate.

Otra posible causa de estos resultados pudo deberse a las diferencias individuales de los participantes. Diferentes autores proponen que la segmentación por bandas de frecuencia utilizada podría estar induciendo a sesgos en las investigaciones electroencefalográficas realizadas [42] [49].

Una de las limitaciones del trabajo es la poca cantidad de participantes registrados. Por otro lado, los análisis de datos propuestos en la presente investigación difieren de otros trabajos realizados en el contexto peruano [42]. Específicamente, Paredes [42] aplicó desincronización relacionada a eventos (DRE) utilizando los algoritmos de CRB. Esto pudo afectar en la validez de resultados obtenidos en este trabajo.

No obstante, como parte de un estudio preliminar, el presente trabajo aporta al debate relacionado al movimiento imaginado. Por otro lado, brinda herramientas y líneas de base para futuras investigaciones relacionadas al estudio

neurocognitivo. Futuras investigaciones podrían enfocarse en uso de más canales de recepción de datos.

REFERENCIAS

- [1] S., Liberzczuk, A. Q., Quintero, & Risk, M Evaluación de un mapa Auto-Organizado aplicado a una Interfaz Cerebro. Evaluación de un mapa Auto-Organizado aplicado a una Interfaz Cerebro Computadora. *IEEE Latin America Transactions*, 2012.
- [2] M., N. Tamayo. Imaginería mental: neurofisiología e implicaciones en psiquiatría. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 43(1), 40-46, 2014.
- [3] G., Borst, & S. M Kosslyn. Visual mental imagery and visual perception: Structural equivalence revealed by scanning processes. *Memory & Cognition*, 36(4), 849-862, 2008.
- [4] N. Schott. Age-related differences in motor imagery: Working memory as a mediator. *Experimental Aging Research*, 38(5), 559-583, 2012.
- [5] M., Van Der Meulen, O., Beauchet, S. W., Rieger, P., Vuilleumier, & F. Assal. The neural basis of age-related changes in motor imagery of gait: an fMRI study. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 69(11), 1389-1398, 2013.
- [6] J., Munzert, B., Lorey, & K. Zentgraf. Cognitive motor processes: the role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain research reviews*, 60(2), 306-326, 2009.
- [7] M., Rodriguez, C., Llanos, S., Gonzalez, & M. Sabate. How similar are motor imagery and movement?. *Behavioral neuroscience*, 122(4), 910, 2008.
- [8] S. T. Grafton. Embodied cognition and the simulation of action to understand others. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1156(1), 97-117, 2009.
- [9] Chang, Y., Lee, J. J., Seo, J. H., Song, H. J., Kim, Y. T., Lee, H. J. & Kim, J. G. (2010). Neural correlates of motor imagery for elite archers. *NMR in Biomedicine*, 24(4), 366-372.
- [10] M. Teplan. Fundamentals of EEG measurement. *Measurement science review*, 2(2), 1-11, 2002.
- [11] G, A., Castañeda & R, J. Paternina. *Procesamiento embebido de señales cerebrales relacionadas con la imaginación de movimientos para aplicaciones de BCI* (Bachelor's thesis, Facultad de Ingeniería). Multimodal functional imaging of motor imagery using a novel paradigm. *Neuroimage*, 71, 50-58, 2013.
- [12] Höller, Y., Bergmann, J., Kronbichler, M., Crone, J. S., Schmid, E. V., Thomschewski, Butz, K., Schütze, V., A., Höller, P. & Trinka, E. (2013). Real movement vs. motor imagery in healthy subjects. *International Journal of Psychophysiology*, 87(1), 35-41.
- [13] S., Deedwaniya & T. K., Gandhi. An ensemble approach for brain computer interface applications. In *Humanitarian Technology Conference (R10-HTC), 2016 IEEE Region 10*, 1-4, 2016.
- [14] S., Baillet, J. C., Mosher, & R. M. Leahy. Electromagnetic brain mapping. *IEEE Signal processing magazine*, 18(6), 14-30, 2001.
- [15] J. M., Schoffelen, & J. Gross. Source connectivity analysis with MEG and EEG. *Human brain mapping*, 30(6), 1857-1865, 2009, (2009).
- [16] R., Hari, L., Parkkonen & C., Nangini. The brain in time: insights from neuromagnetic recordings. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1191(1), 89-109, 2010.
- [17] R. Hornero, R. Corralejo, & D. Álvarez, "Brain-Computer Interface (BCI) aplicado al entrenamiento cognitivo y control domótico para prevenir los efectos del envejecimiento," *Fundación General CSIC LYCHNOS*, 8(1), 29-34, 2012.
- [18] G. Johnson, & D. Krusienski, Ensemble SWLDA classifiers for the P300 speller. *International Conference on Human-Computer Interaction* 1(1), 551-557, 2009.
- [19] D. G., Pearson, C., Deeprase, S. M., Wallace-Hadrill, S. B., Heyes, & E. A. Holmes. Assessing mental imagery in clinical psychology: A review of imagery measures and a guiding framework. *Clinical Psychology Review*, 33(1), 1-23, 2013.
- [20] X., Tian, & D. Poeppel. Mental imagery of speech: linking motor and perceptual systems through internal simulation and estimation. *Frontiers in human neuroscience*, 6, 314, 2012.
- [21] C. M., Bird, J. A., Bisby, & N. Burgess The hippocampus and spatial constraints on mental imagery. *Frontiers in human neuroscience*, 6, 142, 2012.
- [22] H. E., Schendan, & G. Ganis. Electrophysiological potentials reveal cortical mechanisms for mental imagery, mental simulation, and grounded (embodied) cognition. *Frontiers in psychology*, 3, 329, 2012.
- [23] J. E. Gómez. Entrenamiento en técnicas cognitivo-conductuales para la elevación de rendimiento en un equipo deportivo. *Revista Ciencia y Cultura*, 4(8), 2015.
- [24] D. G., Carrasco & J. A. Cantalapiedra Efectividad de la imaginación o práctica mental en la recuperación funcional tras el ictus: revisión sistemática. *Neurología*, 31(1), 43-52, 2016.
- [25] J. A., Cecchini, J. L., Fernández-Losa, & M. Pallasá La precisión del movimiento imaginado y la recepción de balón en niños/The Accuracy of the Motor Imagery and the Ball Reception in Children. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, (62), 2016.
- [26] G. R., Müller-Putz, R., Scherer, G., Pfurtscheller, & R. Rupp. EEG-based neuroprosthesis control: a step towards clinical practice. *Neuroscience letters*, 382(1-2), 169-174, 2005.
- [27] R. I., Carino-Escobar, J. G., Martinez, J., Cantillo-Negrete & R. A. Vazquez Clasificación de imaginación de movimiento mediante su similitud con el movimiento real en el electroencefalograma. *Memorias del Concurso Lasallista de Investigación, Desarrollo e innovación*, 2, 1-5, 2015. *Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, (62), 2016.
- [28] A., Úbeda, E., Iáñez, & J. M. Azorín. Shared control architecture based on RFID to control a robot arm using

- a spontaneous brain-machine interface. *Robotics and Autonomous Systems*, 61(8), 768-774, 2013.
- [29] J., Grezes, & J., Decety. Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: a meta-analysis. *Human brain mapping*, 12(1), 1-19, 2001.
- [30] T., Hanakawa, I., Immisch, K., Toma, M. A., Dimyan, P., Van Gelderen, & M., Hallett. Functional properties of brain areas associated with motor execution and imagery. *Journal of neurophysiology*, 89(2), 989-1002, 2003.
- [31] S., Héту, M., Grégoire, A., Saimpont, M. P., Coll, F., Eugène, P. E., Michon, & P. L. Jackson. The neural network of motor imagery: an ALE meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(5), 930-949, 2013.
- [32] Cumming, G. The new statistics: Why and how. *Psychological science* 25.1, 7-29, 2014.
- [33] C., Schuster, R., Hilfiker, O., Amft, A., Scheidhauer, B., Andrews, J., Butler, T. Ettl. Best practice for motor imagery: a systematic literature review on motor imagery training elements in five different disciplines. *BMC medicine*, 9(1), 75, 2011.
- [34] S., Krautner, A., Gionfriddo, T., Bardouille, & S. Boe. Motor imagery-based brain activity parallels that of motor execution: Evidence from magnetic source imaging of cortical oscillations. *Brain research*, 1588, 81-91, 2014.
- [35] H., Burianová, L., Marstaller, P., Sowman, G., Tesan, A. N., Rich, M., Williams & Johnson, B. W. Multimodal functional imaging of motor imagery using a novel paradigm. *Neuroimage*, 71, 50-58, 2013.
- [36] Milton, J., Solodkin, A., Hlusti'k, P., Small, S.L., The mind of expert motor performance is cool and focused. *NeuroImage* 35 (2), 804-813, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.04.041>.
- [37] E., Heremans, W. F., Helsen & P. Feys. The eyes as a mirror of our thoughts: quantification of motor imagery of goal-directed movements through eye movement registration. *Behavioural brain research*, 187(2), 351-360, 2008.
- [38] Heremans, E., Smits-Engelsman, B., Caeyenberghs, K., Vercruyse, S., Nieuwboer, A., Feys, P., & Helsen, W. F. (2011). Keeping an eye on imagery: the role of eye movements during motor imagery training. *Neuroscience*, 195, 37-44.
- [39] E. V., Cores, Á., Merino, M. B., Eizaguirre, S., Vanotti, S., Rodríguez-Quiroga, T., Arakaki & N. S. Garretto, Imaginería motriz en pacientes con Parkinson: el paradigma de la cronometría mental, 2015.
- [40] H. H. Jasper. The ten twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375, 1958.
- [41] R. Paredes. *Actividad del sistema de neuronas espejo durante la percepción y acción de movimientos de dedos*. (Tesis de pregrado), 2017.
- [42] W. X., Yao, V. K., Ranganathan, Allexandre, D., V., Siemionow, & G. H. Yue. Kinesthetic imagery training of forceful muscle contractions increases brain signal and muscle strength. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 2013.
- [43] G., Pfurtscheller, & F.H. L da Silva. Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clinical neurophysiology*, 110(11), 1842-1857, 1999.
- [44] A., Delorme & S., Makeig. EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of neuroscience methods*, 134(1), 9-21, 2004.
- [45] M., Loporto, C., McAllister, J., Williams, R., Hardwick, & P. Holmes. Investigating central mechanisms underlying the effects of action observation and imagery through transcranial magnetic stimulation. *Journal of motor behavior*, 43(5), 361-373, 2011.
- [46] M., Lotze, & U. Halsband, Motor imagery. *Journal of Physiology-Paris*, 99(4), 386-395, 2006.
- [47] C. R., Madan, & A. Singhal, Motor imagery and higher-level cognition: four hurdles before research can sprint forward. *Cognitive processing*, 13(3), 211-229, 2012.
- [48] N., Sharma, J. C., Baron, & J. B. Rowe. Motor imagery after stroke: relating outcome to motor network connectivity. *Annals of neurology*, 66(5), 604-616.
- [49] S., Haegens, H., Cousijn, G., Wallis, P. J., Harrison, & A. C. Nobre. Inter-and intra-individual variability in alpha peak frequency. *Neuroimage*, 92, 46-55, 2014.

Desarrollo de propuestas del movimiento imaginado en las aplicaciones clínicas

Ccasane Vargas, Bryan José
Pontificia Universidad Católica del Perú

Miranda Llanos, Camilo Emmanuel
Pontificia Universidad Católica del Perú

Resumen— El siguiente trabajo tuvo como objetivo proponer una técnica de rehabilitación basada en el movimiento imaginario. Teniendo diferentes precedentes del efecto del movimiento imaginado en la rehabilitación, se espera que dicha propuesta tenga efectos significativos en investigaciones de terapia ocupacional.

Index Terms— Imaginería, Rehabilitación, Hemiparesia.

V. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con la Clasificación Internacional del Funcionamiento y de la Salud (CIF), se describe a la discapacidad como un conjunto de deficiencias, limitaciones y restricciones de participación, generados por una enfermedad o mal subyacente o el contexto en que el individuo se encuentra [1]. Actualmente, se conoce que 930000 personas presentan alguna discapacidad a nivel nacional, de acuerdo con la Encuesta Nacional Especializada sobre Discapacidad” [2] [3]. Dentro de estos casos, se pueden encontrar personas con lesiones neuropsicológicas, las cuales poseen mayor cuidado para la recuperación de las funciones [4]. Específicamente, el accidente cerebrovascular entre otras lesiones se ha incrementado en un 100% en países subdesarrollados [5]. Por otro lado, el tratamiento de estas discapacidades resulta costoso tanto para el paciente como para sus familias [6]. Asimismo, las condiciones hospitalarias son relativamente ineficientes, lo que agrava la situación sanitaria del [5] [7].

Sobre este problema, se describe al movimiento imaginado como fundamental en el desempeño del movimiento en situaciones de rehabilitación [4]. Por un lado, podría reducir los costos en rehabilitación de los pacientes. Por otro lado, podría acelerar el proceso de recuperación del movimiento de manera y/o total [8] [9].

VI. MARCO TEÓRICO

La imaginería motora puede ser definida como el “procedimiento de imaginar el movimiento de un miembro hacia la izquierda o hacia la derecha, al tiempo que se adquiere el EEG del sujeto, sin que este movimiento se produzca realmente” [10]. Este es un proceso cognitivo complejo, ya que involucra simular escenarios mentalmente;

así como analizar y establecer conclusiones sobre un evento inexistente y atemporal [11] [12]. En diferentes campos de la psicología, se ha tomado en cuenta el movimiento imaginado como facilitador de aprendizaje e indicador de desarrollo y/o deterioro motriz. Por un lado, cualquier tipo de imaginería mental puede ser considerada como memoria declarativa, la cual puede ser almacenada [11] [13], y evocada desde la memoria de trabajo [14] [15] [16]. Sobre la base de este mecanismo, la imaginería motora facilita la preparación y el entrenamiento, además de mejorar el proceso de aprendizaje del desempeño motor del individuo [17] [18]. Esto podría sugerir que la imaginería mental y la praxis motora podrían estar sujetas a los mismos factores fisiológicos [19]. Por esto, el movimiento real y el imaginado tienen procesos cognitivos similares [19].

La aplicación del movimiento imaginado en la rehabilitación de discapacidades sensoriomotoras ha sido tomada en cuenta por diferentes terapeutas, puesto que es posible que genera mejoras similares a prácticas motrices reales [4] [20] [21] [22] [23] [24]. De manera precisa, la imaginería motora es utilizada por la terapia física para la recuperación de movimiento de extremidades superiores [21].

No obstante, también se han aplicado técnicas de rehabilitación del movimiento generado por deterioro cognitivo [4]. Específicamente, se han aplicado terapias basadas en el movimiento imaginado en pacientes de Parkinson [8] [9]. Por otro lado, diferentes especialistas han estudiado el movimiento imaginado para la rehabilitación de daño cerebral adquirido [25]. Por un lado, se han desarrollado terapias de rehabilitación [26] [27] [28] en personas con daños espinales basadas en el movimiento imaginado. Por otro lado, se han realizado programas de recuperación de movimiento a infantes que sufrían de hemiparesia [29].

Asimismo, otras técnicas como la imitación y la “imaginación de imitar” ha sido aplicada para el tratamiento de dolor de hemiparesias y otros trastornos neurológicos generados por accidentes cerebro vasculares [20]. Por último, se han propuestos programas basados en interfaz cerebro-computador (ICC) para reducir la pasividad de los pacientes y agilizar los resultados de la rehabilitación por movimiento imaginado [30]. En el presente trabajo, se tiene como objetivo desarrollar una propuesta basada en el movimiento imaginado para el surgimiento de técnicas de rehabilitación más eficientes. Sobre la base de diferentes estudios, se propone que las aplicaciones de las técnicas basadas en el movimiento imaginado deben producir mejoras en el desempeño

psicomotor de adolescentes diagnosticados con alguna discapacidad.

VII. MÉTODO

A. Participantes

Para la aplicación de la propuesta se propone que los participantes sean jóvenes entre 12 y 18 años. Dicha elección se debe a que la edad es considerada como un factor determinante en el desempeño del movimiento imaginado [16] [17] [29] [31]. Asimismo, las edades de 12 a 18 años las capacidades motrices del individuo son más sofisticadas; además de tener mayor flexibilidad a ciertos estímulos e imagería motora [1] [4] [16] [32]. Algunos de los requisitos para dicho protocolo es que los participantes no deben tener una discapacidad desde nacimiento. Ya que las personas con discapacidades desde nacimiento imaginan de manera distinta los movimientos a diferencia de personas con discapacidad adquirida. Asimismo, la propuesta estará enfocada en personas que hayan tenido algún accidente neuropsicológico y/o deterioro cognitivo; ya que es el tipo de población con la cual se ha trabajado más frecuentemente el paradigma del movimiento imaginado [4] [6] [29] [33].

B. Intervención propuesta

La propuesta de intervención se concentra en la intervención BCI en el uso del movimiento imaginado en el proceso de rehabilitación [30]. Las interfaces cerebro-computadora (BCI) basadas en el movimiento imaginado, permiten establecer comunicación, donde las señales cerebrales pasan a ser patrones de control específico, a pesar de no ejecutarse el movimiento [30], [34]. Las terapias de rehabilitación pasivas impiden motorizar la implicación del paciente en el desempeño; y por ello, el uso de herramientas como el BCI resulta crucial en la celeridad de la recuperación [30], [35]. Dicha intervención constó de una hora por sesión. En cada una de ellas el paciente ejecutaba entre uno y cuatro ejercicios, según su nivel de cansancio y de su estado de salud [30].

C. Medición de resultados

Medición de motricidad unilateral: Se propone la utilización del Assisting Hand Assessment (AHA); adaptado por Holmfur [36], el cual tiene como objetivo medir problemas de motricidad unilateral en niños y adolescentes. Específicamente, es usado ante eventos de parálisis de manos y brazos.

Medición de habilidades y destrezas manuales: Se propone el criterio planteado por el Manual Ability Classification System (MACS) adaptado por Eliasson [32]. Específicamente; describe cómo los niños con que sufren parálisis cerebral (PC) utilizan sus extremidades superiores para la manipulación de objetos en sus actividades [32].

VIII. RESULTADOS ESPERADOS

De acuerdo con la literatura relacionada al tema, se esperan mejoras significativas en el desempeño de los adolescentes [25] [29]. Por un lado, se espera que aumente el grado de funcionalidad de los participantes en el estudio, así como disminuir el tiempo de tratamiento de los pacientes [4].

REFERENCIAS

- [1] *Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud*, ONU, Madrid, Esp., 2001, pp. 1-270.
- [2] Congreso Nacional para la Integración de la persona con Discapacidad, *Encuesta Nacional Especializada sobre Discapacidad*, Lima, Perú: INEI, 2012.
- [3] R. V. Paredes, "Actividad del sistema de neuronas espejo durante la percepción y acción de movimientos de dedos," Lic. Tesis, Fac. Psicología, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, 2017.
- [4] F. Malouin, & C. Richards, "Clinical applications of motor imagery in rehabilitation," *Multisensory Imagery*, vol. 1, no. 1, pp. 397-419. Ene. 2013.
- [5] L. Davalos, & G. Málaga "El accidente cerebrovascular en el Perú: una enfermedad prevalente olvidada y desatendida," *Rev. Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, vol. 31, no. 1, pp. 400-401, May. 2014.
- [6] *Guía Clínica de Neuro-Rehabilitación en Daño Cerebral Adquirido*, Reintegra, Madrid, Esp., 2013, pp. 1-150.
- [7] J. Abanto, J. Pajuelo, D. Alvarez, C. Tarqui, & R. Agüero, "Sobrepeso, obesidad y desnutrición crónica en niños de 6 a 9 años en Perú," *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, vol. 30, no. 1, pp. 583-589, Oct. 2013.
- [8] S. Braun, A. Beurskens, M. Kleynen, J. Schols, & D. Wade, "Rehabilitation with MP has similar effects on mobility as rehabilitation with relaxation in people with Parkinson's disease: a multicentre randomised trial," *Physiother*, vol. 57, no. 1, pp. 27-34, Ago. 2011.
- [9] R. Tamir, R. Dickstein, & M. Huberman, "Integration of motor imagery and physical practice in group treatment applied to subjects with Parkinson's disease," *Neurorehabil. Neural Repair*, vol. 2, no. 1, pp. 68-75, Ene. 2007
- [10] S. Liberczuk, A. Quintero, & M. Risk, "Evaluación de un mapa Auto-Organizado aplicado a una Interfaz Cerebro. Evaluación de un mapa Auto-Organizado aplicado a una Interfaz Cerebro Computadora," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 126, no. 1, pp. 1-5, Jun. 2012.
- [11] M. Tamayo, "Imaginería mental: neurofisiología e implicaciones en psiquiatría," *Revista Colombiana de Psiquiatría*, vol. 43, no. 1, pp. 40-46, Mar. 2014.
- [12] G. Borst, & S. Kosslyn, "Visual mental imagery and visual perception: Structural equivalence revealed by scanning processes," *Memory & Cognition*, vol. 36, no. 4, pp. 849-862, Dic. 2008.
- [13] X. Tian, & D. Poeppel, "Mental imagery of speech: linking motor and perceptual systems through internal simulation and estimation," *Frontiers in human neuroscience*, vol. 6, no. 1, pp. 1-11, May. 2012.
- [14] C. Bird, J. Bisby, & N. Burgess, "The hippocampus and spatial constraints on mental imagery," *Frontiers in human neuroscience*, vol. 6, no. 1, pp. 1-12, May. 2012.
- [15] H. Schendan, & G. Ganis, "Electrophysiological potentials reveal cortical mechanisms for mental imagery, mental simulation, and grounded (embodied)

- cognition,” *Frontiers in psychology*, vol. 3, no. 3, pp. 1563-1574, Set. 2012.
- [16] N. Schott, “Age-related differences in motor imagery: Working memory as a mediator,” *Exp. Aging Research*, vol. 38, no. 5, pp. 559-583, Jun. 2012.
- [17] J. Gómez, “Entrenamiento en técnicas cognitivo-conductuales para la elevación de rendimiento en un equipo deportivo,” *Rev. Ciencia y Cultura*, vol. 4, no. 8, Dic. 2015.
- [18] D. Carrasco, & J. Cantalapiedra, “Efectividad de la imaginería o práctica mental en la recuperación funcional tras el ictus: revisión sistemática,” *Neurología*, vol. 31, no. 1, pp. 43-52, Feb. 2016.
- [19] J. Cecchini, J. Fernández, & M. Pallasá, “La precisión del movimiento imaginado y la recepción de balón en niños,” *Rev. Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, vol. 62, no. 62, pp. 297-315, Jul. 2016.
- [20] E. Figueroa, “Neuronas Espejo: Un nuevo camino dentro de las Neurociencias. Aportes y aplicaciones, en el área de la reeducación y la rehabilitación,” en *10mo Congreso Argentino de Educación Física y Ciencias*, La Plata, 2013, pp. 1-10.
- [21] A. Urquiola, & I. Sánchez, “Rehabilitación de la marcha mediante el uso de la imagen motora en pacientes hemipléjicos,” Bach. Tesis, Fac. Terapia Física, Gimbernat, Barcelona, España, 2014.
- [22] A. Guillot, F. Lebon, M. Vernay, J. Girbon, J. & Doyon, C. Collet, “Effect of motor imagery in the rehabilitation of burn patients,” *Journal of burn care & research*, vol. 30, no. 4, pp. 686-693, Jul. 2009.
- [23] M. Stenekes, J. Geertzen, J. Nicolai, B. De Jong, & T. Mulder, “Effects of motor imagery on hand function during immobilization after flexor tendon repair”, *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 90, no. 4, pp. 553-559, 2009.
- [24] A. Christakou, Y. Zervas, & D. Lavallée, “The adjunctive role of imagery on the functional rehabilitation of a grade II ankle sprain,” *Hum. Mov. Sci.*, vol. 26, no. 1, pp. 141-154, Feb. 2007.
- [25] M. Lima, F. Lima, M. Pacheco, P. Lucareli, J. Lucareli, C. Batista, & C. Falcon, “Neuroimagen de la reorganización cortical en pacientes con lesión medular,” *Revista Ecuatoriana de Neurología*, vol. 16, no. 1, Jun. 2007.
- [26] S. Cramer, R. Orr, M. Cohen, & M. Lacourse, “Effects of motor imagery training after chronic, complete spinal cord injury,” *Exp. Brain Res.*, vol. 177, 2, pp. 233-242, Feb. 2007.
- [27] M. Grangeon, A. Guillot, P. Sancho, M. Picot, P. Revol, & G. Rode, “Rehabilitation of the elbow extension with motor imagery in a patient with quadriplegia after tendon transfer,” *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 91, no. 7, pp. 1143-1146, Oct. 2010.
- [28] M. Popovic, N. Kapadia, V. Zivanovic, J. Furlan, B. Craven, & C. McGillivray, “Functional electrical stimulation therapy of voluntary grasping versus only conventional rehabilitation for patients with subacute incomplete tetraplegia: a randomized clinical trial,” *Neurorehabil. Neural Repair*, vol. 25, no. 5, pp. 433-442, Feb. 2011.
- [29] L. Juste, C. Rubio, I. Franco, & M. Gómez, “Estudio de caso. Terapia del movimiento inducido por restricción en parálisis cerebral infantil,” *Rehabilitación*, vol. 50, no. 2, pp. 125-128, Jun. 2016.
- [30] W. Cho, J. Dinarès-Ferran, M. Sebastián-Romagosa, B. Solé, & C. Guger, “Rehabilitación motora del ictus mediante retroalimentación visual y estimulación muscular utilizando una interfaz cerebro-computadora,” *Cognitive Area Networks*, vol. 7, no. 1, pp. 7-12, Jun. 2017.
- [31] M. Van Der Meulen, O. Beauchet, S. Rieger, P. Vuilleumier, & F. Assal, “The neural basis of age-related changes in motor imagery of gait: an fMRI study,” *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, vol. 69, no. 11, pp. 1389-1398, Nov. 2013.
- [32] A. Eliasson, L. Krumlinde, L. Sundholm, B. Rösblad, E. Beckung, M. Arner, A. Öhrvall, & P. Rosenbaum, “The Manual Ability Classification System (MACS) for children with cerebral palsy: scale development and evidence of validity and reliability,” *Developmental Medicine and Child Neurology*, vol. 48, no. 7, pp. 549-554, Jul. 2006.
- [33] M. Lisowska, “¿Cómo imaginan la actividad física las personas con discapacidad?,” *Universidad, Ciencia y Desarrollo*, vol. 5, no. 9, pp. 1-15, Jul. 2010.
- [34] S. Deedwaniya & T. Gandhi, “An ensemble approach for brain computer interface applications,” en *IEEE Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)*, Agra, 2016, pp. 1-4.
- [35] X. Hu, K. Tong, R. Song, X. Zheng, & W. Leung, “A comparison between electromyography-driven robot and passive motion device on wrist rehabilitation for chronic stroke,” *Neurorehabilitation and Neural Repair*, vol. 23, no. 8, pp. 837-846, Jun. 2009.
- [36] M. Holmefur, *The Assisting Hand Assessment: continued development, psychometrics and longitudinal use*, Estocolmo, Suecia, KIB, 2009.

Propuesta de interfaz cerebro – computadora a partir del movimiento imaginado

Ccasane Vargas, Bryan José
Pontificie Universidad Católica del Perú

Miranda Llanos, Camilo Emmanuel
Pontificie Universidad Católica del Perú

Abstract— El uso de interfaces cerebro-computadora ha crecido en los últimos años tanto en aplicaciones como en interés entre el público objetivo, el cual abarca a aquellos especialistas que buscan nuevos y sofisticados métodos, incluyendo aplicaciones en el campo de la rehabilitación y la medicina, con el propósito de contribuir a que personas con discapacidades motoras e individuos con deficiencias en sus funciones comunicativas sean capaces de mejorar sus habilidades de interacción con su entorno.

Index Terms— Imaginería, BCI, Movimiento.

IX. PROPUESTA DE DESARROLLO

La interfaz que se propone de manera preliminar en este estudio, usa las señales electroencefalográficas (EEG) captadas durante las actividades experimentales realizadas por los participantes con ayuda de un sistema de adquisición de señales bioeléctricas, en este caso el BIOPAC, con el objetivo de diferenciar el movimiento real del imaginado.

En términos prácticos, la finalidad de dicha interfaz es la de controlar un componente externo mediante la variación de determinados parámetros por su frecuencia, localización u otros aspectos relacionados con la función cerebral, los cuales otorgan complejidad al estudio en EEG [1] [2] [3]. Sin embargo, hay evidencia empírica que muestran la capacidad que tienen las personas para controlar algunos aspectos de la actividad EEG [4]; y en particular en nuestro análisis, se determinarán los cambios de potencial de la zona C3, lugar en donde se generan señales bioeléctricas relacionadas al movimiento imaginado [2]. Existe, sin embargo, un grado de entrenamiento que debería realizar el participante con el objetivo de lograr un mayor control de sus señales EEG, o dicho de otro modo, lograr que sus pensamientos de movimiento imaginado logren repercutir ampliamente en la zona C3 y se puedan generar señales de potenciales más significativos en comparación con el estado de reposo. Actualmente, existen grupos de investigación en técnicas que permitan protocolos de entrenamientos eficientes; con el objetivo que las personas obtengan cierto control sobre sus señales EEG con mayor celeridad [4] [5] [6]. Una de estas técnicas se basa en la realidad virtual. Tomando lo anterior como precedente, el presente proyecto tiene como propósito brindar a la literatura propuestas preliminares de interfaces cerebro – computadora

que puedan ser aplicadas luego de adquirir un grado de dominio superior de las señales EEG.

X. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Tras obtener las lecturas necesarias de las señales EEG de la zona C3, optimizadas por el entrenamiento del participante involucrado usando el hardware de amplificación y filtrado del BIOPAC MP160, se procesaron dichas señales con el software de libre disponibilidad EEGLAB que trabaja con MATLAB, logrando obtener información cuantitativa de los decibelios generados en una gama de frecuencias de 8 a 13 Hz, y generando de la misma manera una matriz de datos relacionados directamente con la amplitud del potencial generado en un movimiento imaginado, ello permitió compararla con la señal que se lee en estado de reposo y que existe una diferencia en términos porcentuales [7].

La propuesta que se plantea es la de analizar dichos valores porcentuales en comparación con una referencia establecida de valores admisibles para distinguir un movimiento imaginado del reposo. Según los experimentos realizados, dicho umbral es hallado mediante los valores de densidad espectral de potencia, o event-related spectral perturbation de manera cuantitativa. La identificación del umbral se realizaría con el paquete de soporte de MATLAB para Arduino, el cual permite escribir programas de MATLAB en los dispositivos Arduino [8]. Esto se debe a que MATLAB presenta un lenguaje intérprete de alto nivel, puede obtener resultados directamente de los puertos de Arduino y sin necesidad de compilación [8]. El dispositivo Arduino se conectará al equipo que ejecuta EEGLAB en MATLAB y el procesamiento se llevará a cabo en el mismo contexto.

La comunicación de MATLAB con la tarjeta Arduino se puede realizar mediante el siguiente código:

```
s =
serial('COM8','BaudRate',9600,'Terminator','CR/L
F');
fopen(s);
fwrite(s,comando,'uint8');
```

Mediante la ejecución de dichos comandos se abre el puerto serial en MATLAB y se envía un dato en formato uint8, que equivale a un byte de información. Según el código, la velocidad de transmisión serial es de 9600 que equivalen a 9600 bits por segundo o 1200 bytes de datos enviados por segundo.

Por el lado del Arduino, será el controlador que transfiera la información porcentual analizada en el EEGLAB por medio de sus puertos de entrada y salida al software de Arduino, que se limitará a leer los puertos del Arduino y ejecutar el código planteado para la aplicación propuesta. La propuesta es la de tener dos estados lógicos ON - OFF en el puerto del Arduino relacionados a MOVIMIENTO IMAGINADO - REPOSO, de manera que sea posible compararlos y realizar una determinada acción cuando el estado lógico sea '1' o '0'.

El siguiente código en C para Arduino permite recibir los datos enviados desde MATLAB:

```
#include <EEPROM.h>

byte comando;
void setup() {
  Serial.begin(9600); //configuramos el puerto serial
}

void loop() {
  if (Serial.available()>0){ //si hay datos disponibles
    en el serial
    delay(50); //esperemos a que se terminen de recibir
    comando=Serial.read(); //leemos el primer datos –
    byte-
    EEPROM.write(0,comando);//lo escribimos en la
    EEPROM para cualquier uso
    Serial.flush();//limpiamos el serial.
  }
}
```

El código almacenado en el Arduino determinará la acción a realizar en cada caso, la cual presenta diversas posibilidades de aplicación. Una de ellas es la de controlar un motor DC que presente análogamente dos estados de funcionamiento los cuales son encendido y apagado. El Arduino se encarga del control bidireccional del motor de corriente continua, uno que cumpliría con las características requeridas sería uno de tipo BRUSHED – DC que opere con 36V y 7A, bajo una potencia de 250W, el cual iría conectado a la rueda de una silla de ruedas y permitiría el movimiento de la misma controlado por el movimiento imaginado.

Para controlar el motor descrito con Arduino, bastaría con usar un driver para motores con el propósito de proporcionarle más corriente al motor ya que las salidas del Arduino sólo dan una corriente de 40mA. De esta manera, el driver serviría como un dispositivo de control de la fuente de alimentación externa. Se propone usar el driver IRF3205; un circuito integrado para controlar motores DC que usa sistemas puente en H [9], y presenta las características técnicas necesarias y suficientes (Voltaje 3-36V, Corriente hasta 10A) para operar con el motor seleccionado. Con dicho driver y una tarjeta de Arduino sería posible controlar el motor mediante diversas librerías existentes para este tipo de propósitos. Se propone usar un *PuenteH*, que presenta funciones que permiten ejecutar el siguiente código para utilizar el comando recibido con el código anterior.

```
#include "PuenteH.h"
byte comando;

/// Definición de pines

// Motor A
const int ENA = 5; // Pin PWM
const int IN1 = 8;
const int IN2 = 13;

/// Instancia a clase PuenteH
PuenteH puenteH(PuenteH::L298);
/// Fin de instancia a clase PuenteH

/// Funciones básicas
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Inicio de sistema:");

  puenteH.setMotor1(ENA, IN1, IN2);
  puenteH.initMotors();
}

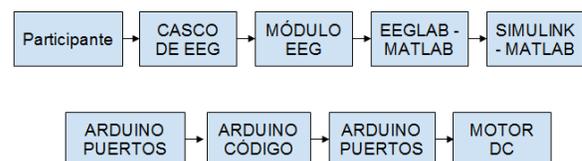
void loop() {
  if (Serial.available()>0){
    delay(50);
    comando=Serial.read();
    EEPROM.write(0,comando);
    Serial.flush();

    if (comando=='1'){
      puenteH.goForward(200); //Motor avanza si el
      comando indica "ON"
    }
    else if (comando=='0'){
      puenteH.stop(); //Motor se detiene si el comando
      indica "OFF"
    }
  }
}
```

El código anterior permitiría controlar el avance unidireccional del motor DC y su respectiva parada según el comando obtenido de movimiento imaginado o reposo.

Se puede explicar de manera gráfica y simplificar la comprensión de la propuesta de interfaz cerebro-computadora mediante el diagrama de mostrado en la tabla 1 .

FIGURA I: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL FUNCIONAMIENTO DEL COMPONENTE EXTERNO.



REFERENCIAS

- [1] J. Garzón, S. Rojas, C. Sanabria, & D. Montenegro, “Uso de una BCI (Brain Computer Interface) como enlace interactivo, terapéutico y de aprendizaje dirigido a personas con discapacidad cognitiva y motora,” en *I17TH Laccei Latin Americana and Caribbean conference for Engineering and Technology*, Cancún, 2013, pp. 2-12.
- [2] G. Castañeda, & R. Paternina, “Procesamiento embebido de señales cerebrales relacionadas con la imaginación de movimientos para aplicaciones de BCI,” *Neuroimage*, vol. 71, no. 1, pp. 50-58, Nov. 2013.
- [3] Guerrero, J. “Tema 2, Bioseñales. Escola Técnica Superior d’Enginyeria,” en *Ingeniería Biomédica: Open Course Ware*. 2011. Disponible en http://ocw.uv.es/ingenieria-y-arquitectura/1-5/ib_material/IB_T2_OCW.pdf
- [4] A. Reyes, & L. Boquete, “Interfaces Hombre-Máquina y Realidad Virtual,” *Spanish Ministry of Science and Technology and European Regional Development Funds*, vol. 1, no. 1, 2005. Disponible en: <http://www.diana.uma.es/investigalHM/intentio.htm>.
- [5] A. Velazco, “Interfaz cerebro-computadora: paradigmas de navegación basados en una tarea de imaginación,” Dr. tesis, Fac. Ing. de la comunicación, Universidad de Málaga, Málaga, España, 2012.
- [6] G. Villanueva, & A. Díaz, “Una interfaz gestual multidesfio para la gestión colaborativa en caso de emergencia,” en *IADIS CGVCVIP Conference*, pp. 179-181, 2012.
- [7] M. Kremer, & M. Mullins, *BIOPAC Student lab: Tutorial básico*, NY, USA, BIOPAC® Systems, Inc, 2015.
- [8] Mathworks® (2018) *Manual de Programación en Arduino con MATLAB y Simulink*. U [Online]. Disponible en: <https://la.mathworks.com/discovery/programacion-arduino.html>.
- [9] Lilly Electronics Limited, (2018). *Manual 3-36V 10A Peak 30A Dual Motor Driver Module board H-bridge DC MOSFET IRF3205* [Online]. Disponible en <http://www.lillyelectronics.com/3-36v-10a-peak-30a-dual-motor-driver-module-board-h-bridge-dc-mosfet-irf3205>