



Revista Peruana de Investigación en Salud

ISSN: 2616-6097

ISSN: 2616-6097

repisunheval@gmail.com

Universidad Nacional Hermilio Valdizán

Perú

Alvarez, Antonio; Alvarado, Negman; Reynoso, Sebastián; Gai, Sofia; Cassia, Jorge; Pérez, Santiago; Dugarte, Edinson; Balacco, José; Abraham, Jorge; Molina, Alejandra; Dugarte, Nelson

Técnica de procesamiento para detección de índices
que señalen la presencia de onda MU en la señal EEG

Revista Peruana de Investigación en Salud, vol. 3, núm. 3, 2019, Julio-Septiembre, pp. 101-108

Universidad Nacional Hermilio Valdizán
Perú

DOI: <https://doi.org/10.35839/repis.3.3.331>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=635767696002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org
UAEM

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Técnica de procesamiento para detección de índices que señalen la presencia de onda MU en la señal EEG

Processing technique for detecting indices that indicate the MU wave presence in EEG signal

Antonio Alvarez^{1,*}, Negman Alvarado¹, Sebastián Reynoso¹, Sofía Gai¹, Jorge Cassia¹, Santiago Pérez¹, Edinson Dugarte², José Balacco¹, Jorge Abraham¹, Alejandra Molina³, Nelson Dugarte^{1,2}

Abstract

Modern studies have shown that mirror neurons are involved in the development of social empathy and language. Consequently, deficiency in mirror neural networks response could be one of the dysfunctions present in autistic spectrum disorder (ASD), as a phenotypic functional expression of channelopathies in some brain regions. Early detection of deficiencies in mirror neural network systems could allow more efficient applications of behavioral therapies in patients with ASD. The detection of MU waves in the electroencephalogram (EEG) could be an interesting technique that refers to the functioning of these neural networks. In this article we present a simple technique, developed with the purpose of identifying the presence of MU waves in the EEG record. It consists of a processing that analyzes each one of the derivations of the EEG, with the implementation of a mathematical method. The signal analysis looks for the changes in the frequency patterns related to the MU waves, discriminating the presence of alpha waves by the association to the patient's response to a conditioned visual stimulus.

The preliminary results prove the efficiency of the system. The analysis emphasized frequency alterations in the range of 9 to 12 Hz. The most important responses were obtained with the processing of leads C3, Cz and C4.

Keywords: Signal processing, MU wave detection, Mirror neurons, Electroencephalogram analysis.

Resumen

Estudios modernos han demostrado que las neuronas espejo están involucradas en el desarrollo de la empatía social y el lenguaje. En consecuencia, una deficiencia en la respuesta de las redes neuronales espejo podría ser una de las disfunciones presentes en el trastorno del espectro autista (TEA), como expresión funcional fenotípica de las canalopatías en algunas regiones cerebrales.

La detección temprana de las deficiencias en los sistemas de redes neuronales espejo, podría permitir aplicaciones más eficientes de las terapias comportamentales en los pacientes con TEA. La detección de las ondas MU en el Electroencefalograma (EEG) podría ser una técnica interesante que hace referencia al funcionamiento de estas redes neuronales.

En este artículo se presenta una técnica simple, desarrollada con el propósito de identificar la presencia de ondas MU en el registro EEG. Consiste en un procesamiento que analiza cada una de las derivaciones del EEG, con la implementación de un método matemático. El análisis de la señal busca los cambios en los patrones de frecuencia relacionados con las ondas MU, discriminando la presencia de ondas alfa por la asociación a la respuesta del paciente ante un estímulo visual condicionado.

Los resultados preliminares demuestran la eficiencia del sistema. En el análisis se hizo hincapié en las alteraciones de frecuencia en el rango de 9 a 12 Hz. Las respuestas más significativas se obtuvieron con el procesamiento de las derivaciones C3, Cz, y C4.

Palabras clave: Procesamiento de señales, Detección de la onda MU, Neuronas espejo, Análisis del electroencefalograma.

¹Instituto Regional de Bioingeniería (IRB)

– Centro de computación y Neurociencia (CERECON), Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Facultad Regional Mendoza (FRM), Argentina.

²Grupo de Ingeniería Biomédica (GIBULA), Universidad de Los Andes (ULA), Mérida, Venezuela.

³Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Córdoba, Argentina.

ORCID:
<https://orcid.org/0000-0001-9028-4868>

Correspondencia a:

Nelson Dugarte
Dirección: Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Facultad Regional Mendoza (FRM), Argentina.

Email: ndj0227@gmail.com

Fecha de recepción: 11 de diciembre de 2018

Fecha de aprobación: 04 de junio de 2019

Citar como: Alvarez, A., et al. Técnica de procesamiento para detección de índices que señalen la presencia de onda MU en la señal EEG. Rev Peru Investig Salud. 2019;3(3):101-108

2616-6097/©2018. Revista Peruana de Investigación en Salud. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC-BY (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). Permite copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios.



Introducción

El sistema nervioso organiza, dirige y controla las funciones de todos los sistemas del organismo [1]. Por ejemplo, caminar, nadar, oler un perfume o manejar un auto. También existen mecanismos de acto reflejo que se dan cuando enfrentamos posibles situaciones peligrosas, como acercar la mano desprevenidamente a una superficie caliente.

En promedio, el cerebro está compuesto por 86 mil millones de neuronas, 1.500 billones de sinapsis y una proporción de 1:1 entre neuronas y no neuronas (principalmente células gliales y endotelio) [2]. Cada neurona tiene entre 1500 y 9000 conexiones con otras

neuronas (sinapsis). La actividad cerebral consiste en el procesamiento de la información que existe entre las neuronas, a través de esos billones de conexiones nerviosas en constante adaptación [3]. Esta intrincada red nerviosa (conectoma) está asociada a procesos motores, sensitivos, autonómicos, afectivos, comportamentales y cognitivos (como la inteligencia, el lenguaje y el pensamiento abstracto) [4]. Las emociones más primitivas como el miedo o el placer, o sentimientos como el amor y el altruismo son respuestas adaptativas de las estructuras neuronales [5].

Pero, en una red tan grande y compleja es posible que se presenten cambios que desencadenen patologías cognitivas y emocionales. El trastorno del espectro autista

(TEA) es una condición neurológica y de desarrollo que comienza en la niñez, y puede durar toda la vida [6]. A menudo, no hay indicios en el aspecto de las personas con TEA que los diferencien de otras personas, pero es posible que quienes tienen un TEA se comuniquen, interactúen, se comporten y aprendan de maneras distintas a otras personas. Parecieran estar en su "propio mundo" [7].

Según Vera y Vázquez, existen varios grados de autismo [6] [7]. En la mayoría de los casos, se manifiestan entre los 3 y los 5 años de edad, presentando comportamientos atípicos, como hamarcarse con el cuerpo, sacudir los brazos, obsesionarse con ciertos objetos o acciones. Algunos presentan retardo mental, mientras otros pueden presentar una inteligencia superior al promedio.

Los datos epidemiológicos disponibles muestran que la prevalencia de casos dentro de los trastornos del espectro autista es de 6,5 cada 1.000 nacimientos [8]. Sin embargo, el Centro para el Control y Prevención de las Enfermedades de USA en 2014, registró que 1 de cada 59 niños de 8 años de edad, en 11 comunidades de distintas partes de los Estados Unidos, presentaban síntomas de autismo [9]. Por su lado, la Organización mundial de la Salud (WHO) afirma que según sus datos estadísticos, uno de cada 160 niños tiene algún tipo de trastorno del espectro autista [10]. Lo que hace pensar que existe una gran dispersión en las técnicas y parámetros empleados para detectar este tipo de patología, ya que los criterios clínicos son muy amplios acerca del significado e impacto de las conductas repetitivas en el contexto del déficit en la interacción y comunicación sociales. Por eso, en las últimas décadas se han estudiado múltiples marcadores genéticos, bioquímicos, anatómicos, vasculares y funcionales, que pudieran estimar con mayor precisión el diagnóstico, para contribuir al abordaje y manejo precoz de los síntomas. Entre los hallazgos funcionales se encuentran los electroencefalográficos relacionados con el sistema de neuronas espejo [11].

En la primera década del siglo XXI, Ramachandran, comenzó a estudiar la relación entre los sistemas de neuronas espejo y el TEA

[11]. En experimentos posteriores, se ha observado que las personas con TEA presentan una respuesta eléctrica cortical cerebral diferente a como lo hacen las personas normales. Estudios con imágenes de han demostrado que los sistemas de redes neuronales espejo [12] están asociadas a regiones cerebrales relacionados con la ejecución y observación de acciones, percepción y producción del lenguaje, recuperación de información léxico-semántica, empatía en la reactividad interpersonal, respuesta emocional en ciertas condiciones, acoplamiento grupal y probablemente la percepción de cómo nos ven los demás [13].

Un modo de detectar el comportamiento de los sistemas de neuronas espejos fue ensayado por Ramachandran and Altschuler, a través de la detección de Ondas MU [11] [14] a partir del análisis de la Electroencefalografía (EEG) [15], de manera tal que cuando la persona realiza una actividad neuromuscular, estas ondas cerebrales se inhiben y lo mismo sucede con quien observa un movimiento humano en relación a un objeto, a través del mecanismo de su sistema de neuronas espejo [16].

La detección temprana de las deficiencias en los sistemas de redes neuronales espejo, podría permitir la oportuna aplicación de terapias comportamentales, de manera tal que sean más efectivas. Otra perspectiva interesante se abre con la aplicación de técnicas de neuro-realimentación a través del seguimiento y a medición del índice MU a partir de ciertos ejercicios diseñados específicamente para este tipo de síndrome [11].

Este proyecto plantea la definición y clasificación de un Índice MU que pueda en un siguiente estudio ser asociado al TEA, para su correlación y seguimiento con plataformas de neurofeedback, que permitan realizar entrenamientos o sesiones de terapia activa del paciente en escenarios de ambiente controlado, con el uso de realidad virtual y fotometría de escénica modelada en 3D de su vida cotidiana.

Por razones de espacio, en este artículo solo se presenta el avance en el desarrollo del procesamiento que será utilizado como parte de la instrumentación empleada en la busca de

patrones que permitan identificar alguno de los niveles del TEA. Específicamente, se muestra la implementación de una técnica para identificación de un índice MU en la señal electroencefalográfica, asociado al comportamiento del paciente mientras se desarrollan pruebas condicionadas bajo un formato específico.

Metodología

La técnica presentada en este artículo es una propuesta con la cual se pretende detectar la presencia de ondas MU, a partir del análisis de cada uno de los registros EEG. Para esto se desarrolló un programa protocolizado, para la adquisición y procesamiento del EEG. La aplicación de técnicas de análisis de señales en el EEG, busca marcadores que permitan identificar el funcionamiento de las neuronas espejo.

Las mediciones se realizan en el Instituto Regional de Bioingeniería (IRB), adjunto al Centro de Computación y Neurociencia (CeReCoN), de la Universidad Tecnológica Nacional – Regional Mendoza (FRN-UTN).

Protocolo para la adquisición del EEG

El protocolo experimental implementado fue diseñado con ayuda de médicos neurólogos, con el propósito de establecer marcadores claros en los intervalos de tiempo, donde se puedan identificar la presencia de ondas MU. El estudio corresponde a la medición del EEG en el que la variable independiente es el estímulo visual y en base a ella se definen movimientos de características motrices humanas como disparadores del ritmo MU [17]. La Tabla 1, presenta el protocolo implementado en el experimento para todos los pacientes control.

El movimiento identificado en la tabla como "No biológico" consistió en un video que solo muestra el movimiento aleatorizado de partículas esféricas de color naranja sobre un fondo negro. El movimiento identificado en la tabla como "biológico" presenta un video con una mano, del lado derecho de un humano, presionando un cubo plástico de color blanco, sobre un fondo unicolor. La imagen de la mano fue seleccionada en lugar de rostros humanos o imágenes de animales, para evitar la influencia de efectos relajantes o estimulantes que

puedan alterar la señal con cambios en la morfología de la onda alfa.

Tabla 1. Condiciones generales en el experimento: ambiente silencioso, paciente con ojos abiertos y parpadeo normal, mirada fija sobre un monitor de 42" de plasma para la reproducción de los estímulos, colocado a una distancia de 1,5 metros

Actividad	Tiempo (seg)	Video Estímulo
Inicio del EEG	0	Movimiento No biológico
Inicio validable	385	Movimiento No biológico
--	445	Movimiento biológico
--	505	Movimiento No biológico
--	565	Movimiento biológico
--	625	Movimiento No biológico
--	685	Movimiento biológico
Final del EEG	800	Movimiento biológico

El protocolo de la Tabla 1 pretende evidenciar en el EEG la respuesta de empatía del paciente control a una imagen biológica que no represente un estímulo emocional impactante. El tiempo inicial superior a 6 minutos es para descartar las alteraciones de las actividades comunes del paciente.

El grupo de pacientes que constituyó la muestra fue no probabilística y estuvo compuesta por 42 voluntarios de sexo masculino, residentes en la ciudad de Mendoza, con edades comprendidas entre 18 y 25 años, sin diagnóstico de trastornos mentales ni enfermedades orgánicas.

Los EEGs se registraron utilizando un electroencefalógrafo digital Akonic BIO-PC de 64 canales, con velocidad de adquisición de 256 muestras por segundo y 16 bits de resolución por muestra.

Se registraron 21 canales en cada experimento

identificados como: Fp1-F3-C3-P3-O1-F7-T3-T5-A1-Fp2-F4-C4-P4-O2-F8-T4-T6-A2-Fpz-Fz-Cz. Todos los arreglos de amplificación se tomaron monopolar, con referencia auricular cortocircuitado (A1+A2) en los lóbulos de las orejas. Se utilizaron electrodos de copa orificados, dispuestos de acuerdo al sistema internacional 10-20 [15] [18]. Se ajustó la impedancia por debajo de los 30 kilohm ($\text{K}\Omega$) para todos los canales, colocando la referencia del sistema entre las posiciones Oz y Pz. La tierra en la posición Fz. Las pruebas se realizaron en horas nocturnas y con la iluminación del ambiente apagada, con la finalidad que solo la luz del televisor sea el medio del estímulo visual. Se realizó una luxometría a la altura de los ojos del paciente, para conocer la cantidad de luz emitida por los dos estímulos respectivos, resultando en 7 Lum para movimiento no biológico y 12 Lum para movimiento biológico. La Fig. 1, muestra uno de los pacientes control preparado para el experimento.

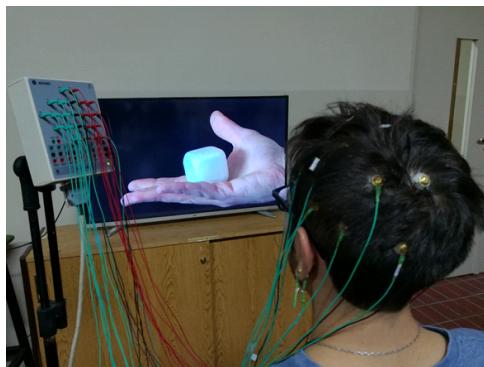


Fig. 1. Paciente control preparado para el experimento.

Todos los experimentos fueron supervisados por un profesional médico con experiencia en el campo. Los análisis de señales se realizaron con los algoritmos de procesamiento desarrollados por nuestro grupo de investigación.

Aspectos Éticos

El estudio se realizó de acuerdo con los principios de la Declaración de Helsinki [19] y fue aprobado por el Comité de Ética del Instituto Regional de Bioingeniería (IRB) de la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional. Después de realizar la explicación de la naturaleza y las posibles consecuencias del estudio, se obtuvo el consentimiento informado por escrito de cada

uno de los participantes.

Procesamiento

Todo el procesamiento se realizó utilizando la aplicación MatLab bajo el entorno de Windows. El diagrama de flujo de la Fig. 2, muestra la secuencia en que se realiza el procesamiento con el software desarrollado en MatLab.

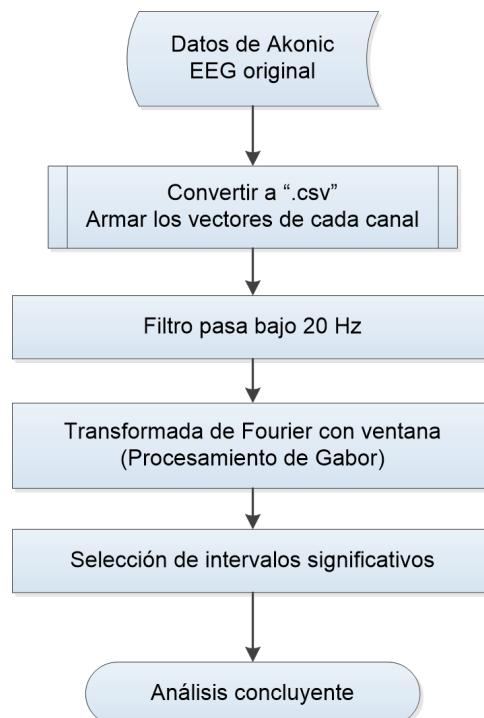


Fig. 2. Secuencia en que se realiza el procesamiento.

El software del equipo Akonic exporta los datos de cada EEG en un formato solo apto para análisis del mismo equipo. Por consiguiente fue necesario convertir los datos a una extensión con formato ANSI (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares) con extensión ".csv". Seguidamente, se reorganizan los datos de la matriz original, obtenida del software de Akonic, para establecer los vectores con la información EEG de cada derivación.

Dado que los patrones de ondas Mu que se desean identificar se encuentran en un espectro de frecuencias entre 5 y 15 Hz, a continuación se aplica un filtro pasa bajo recursivo con frecuencia de corte $\text{Fc} = 20\text{Hz}$. El filtro está definido por la ecuación 1, donde \mathbf{X} conforma la señal de entrada, \mathbf{Y} los datos de salida, $\mathbf{C1}$ y $\mathbf{C2}$ los coeficientes del filtro.

$$Y(i) = C1[X(i) - X(i-1)] + C2[Y(i-1)] \quad (1)$$

Las ecuaciones 2 y 3 permiten calcular los coeficientes **C1** y **C2** a partir de la frecuencia de corte **Fc** y del periodo de muestreo **T**.

$$C1 = \frac{1}{1 + \operatorname{tg}(Fc \cdot \pi \cdot T)} \quad (2)$$

$$C2 = \frac{1 - \operatorname{tg}(Fc \cdot \pi \cdot T)}{1 + \operatorname{tg}(Fc \cdot \pi \cdot T)} \quad (3)$$

El paso siguiente en el algoritmo consistió en realizar la transformada de Fourier sobre una ventana que se desliza con intervalos de 1 segundo (s) sobre todo el registro adquirido, también conocido como procesamiento de Gabor [20]. La transformada de Fourier, definida por la ecuación 4, es un método matemático que permite obtener la intensidad de las distintas frecuencias que componen una señal.

$$f(w) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt \quad (4)$$

La transformada de Fourier, calcula **f(w)** dado como el espectro de frecuencias que componen la señal **f(t)** en términos generales, pero no define los cambios instantáneos que estos componentes puedan experimentar con el transcurso del tiempo. Para esto se implementa una técnica, que introduce una función que segmenta la señal en el tiempo. La ecuación 5, define la transformada de Fourier **f(w,x)** dependiente de un parámetro temporal **x** en cada segmento **v(t-x)** de la señal **f(t)**.

$$f(w, x) = \int_{-\infty}^{\infty} v(t - x) f(t) e^{-i\omega t} dt \quad (5)$$

Dado que la transformada de Fourier **f(w,x)** se relaciona a un intervalo de tiempo de **f(t)**, solo especifica la intensidad de las componentes de frecuencia de la ventana **v(t-x)**. Realizando el procesamiento sobre cada uno de los intervalos de tiempo a lo largo de toda la señal **f(t)**, se obtiene la composición de múltiples transformadas de Fourier, que permiten definir cualquier cambio de intensidad de las componentes de frecuencia entre los intervalos definidos.

Para este procesamiento se delimitaron ventanas de tiempo de 1s, considerando que los cambios de intensidad de la onda MU están contenidos dentro de este intervalo. La Fig. 3, presenta un gráfico en 3D donde se observa la variación de potencia de las componentes de frecuencia, en los diferentes intervalos de tiempo, sobre 810s del canal C3.

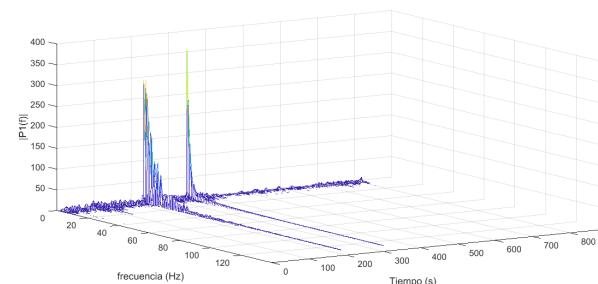


Fig. 3. Gráfico 3D que presenta las componentes de frecuencia en intervalos temporales, sobre 810s del canal C3.

Posteriormente, se analizaron intervalos de tiempo de 10s, (5s antes y 5s después del cambio de estímulo). Para realizar el análisis se toman 5s antes del estímulo, con el propósito de asegurar que el procesamiento tome en cuenta el momento en que sucede el evento. Y se toman 5s después del estímulo, dado que la bibliografía consultada expresa que las respuestas de onda MU se producen casi de forma inmediata al estímulo visual. La unidad de medida escalar utilizada para evaluar el espectro de frecuencia, fue la potencia absoluta **|P1(f)|**, expresada en micro-watts (μW).

Resultados

Para observar el comportamiento del ritmo MU en el tiempo, se analizaron los espectros de frecuencia en intervalos de tiempo de 10s que contuvieran el efecto del estímulo. La Fig. 4, muestra un acercamiento del gráfico obtenido con el procesamiento de Gabor, en uno de los intervalos de tiempo donde ocurre un cambio del estímulo, de movimiento No biológico a movimiento biológico. Como resultado del estímulo visual, se experimenta un cambio notable de la potencia absoluta del espectro entre 9Hz y 12Hz.

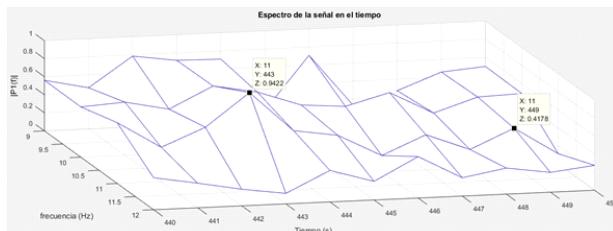


Fig. 4. Acercamiento del gráfico de Gabor, con cambio notable de la potencia absoluta del espectro entre 9 y 12 Hz, coincidentes con el estímulo visual.

En el análisis se hizo hincapié en las alteraciones de frecuencia en el rango de 9 a 12 Hz, considerando que contiene el espectro de frecuencias de la onda MU. Los canales de EEG con resultados más significativos son las derivaciones C3, CZ, y C4, lo cual señala una influencia predominante de las neuronas motoras contenidas en la región anatómica adyacente a la Cisura de Rolando.

Discusión de los Resultados

Los resultados obtenidos en la mayoría de los experimentos presentan características idénticas. La relevancia del cambio que se cuantifica en la potencia absoluta del espectro, se encuentra en el rango de frecuencias de 9Hz a 12Hz y justo en el momento en que se produce el estímulo visual, propiciado por el cambio de imagen en el video, hace evidente la influencia de las neuronas espejo como respuesta al estímulo que se presenta al paciente. Este resultado, sugiere que la disminución de potencia de los componentes de frecuencia que coincide con el estímulo visual, se debe la supresión de la onda MU en el lado contralateral del movimiento del miembro que el observador realiza.

Debe recalarse que la mayoría de los pacientes control involucrados presentó respuestas similares, lo que hace presumir que se cuenta con una herramienta con cierto grado de confiabilidad en la evaluación de la influencia de la empatía a imágenes biológicas, sobre los sujetos de prueba.

En 32 de los pacientes, los resultados obtenidos en el experimento presentaron una clara evidencia de alteraciones de frecuencia en la señal EEG, al momento de cambiar la imagen del estímulo visual. 7 de los registros en

pacientes no fueron concluyentes en el análisis debido al ruido involucrado o a la presencia de la señal de espabilado en el EEG en el espacio correspondiente al cambio de imagen en el estímulo visual y 3 pacientes no presentaron cambios significativos en la señal EEG que pueda ser identificada con el análisis de la señal. Descartando los 7 registros que no son concluyentes, se puede señalar que la técnica desarrollada presentó indicadores que señalan la presencia de onda MU en 32 de 35 casos estudiados, lo cual demuestra una efectividad en 91% de los casos.

Si se toma en cuenta que los registros con datos no significativos podrían corresponder casos leves de autismo que no han sido diagnosticados, se podría pronosticar un alto índice de efectividad en la captación de patrones del TEA basados en un índice MU, que se desarrollaría a partir de la continuidad y profundización de esta investigación.

Conclusiones

En primer lugar, se destacó la importancia del análisis sobre el espectro de frecuencia entre 9Hz y 12Hz, especialmente en las derivaciones C3, C4 y CZ, las cuales mostraron un patrón de comportamiento que se atribuye a la presencia de ondas MU. Si bien en algunos casos resultó más evidenciado que en otros, se puede observar la disminución de la potencia absoluta de las componentes frecuenciales en ese rango, cuando el paciente control pasó de visualizar movimientos no biológicos a visualizar movimientos biológicos.

Los resultados preliminares con el procesamiento desarrollado arrojaron índices satisfactorios, por consiguiente, se considera positiva su utilización para futuros estudios. En la continuación del trabajo con este proyecto se pretende realizar el análisis a una población de pacientes control con TEA, y mejorar el algoritmo para la detección automática de mínimos y máximos en la evaluación del intervalo donde ocurre el cambio del estímulo.

Agradecimiento

Se agradece al Instituto Regional de Bioingeniería (IRB), adjunto al Centro de

Computación y Neurociencia (CeReCoN), de la Universidad Tecnológica Nacional de la República Argentina por su colaboración científica y tecnológica en el desarrollo del proyecto. También se agradece al Grupo de Ingeniería Biomédica (GIBULA) de la Universidad de Los Andes en Mérida, Venezuela por el apoyo prestado. Así mismo, se hace extensivo el agradecimiento a todas las personas e instituciones que han permitido que este proyecto sea factible.

Referencias

- [1] Ganong W., "Fisiología Médica. Manual Moderno", 17^a Edición, Editorial McGraw-Hill. México, D.F., 1999.
- [2] Herculano-Houzel S. The remarkable, yet not extraordinary, human brain as a scaled-up primate brain and its associated cost. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2012;109(Suppl):10661–10668. <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1201895109>
- [3] Fan, L., Li, H., Zhuso, J., Zhang, Y., Wang, J., Chen, L., Yang, Z., Chu, C., Xie, S., Laird, A.R., et al., 2016. The human brainnetome atlas: A new brain atlas based on connectional architecture. *Cerebral Cortex*, bhw157. *Cerebral Cortex*. 2016; 26: 3508–3526 (doi:10.1093/cercor/bhw157).
- [4] Zhendong N., Yaxin N., Qian Z., Linlin Z., and Jieyao W. A brain-region-based meta-analysis method utilizing the Apriori algorithm. *BMC Neurosci* (2016) 17:23 (doi 10.1186/s12868-016-0257-8).
- [5] Arango C., Pimienta H. El cerebro: de la estructura y la función a la psicopatología. *Revista Colombiana de Psiquiatría*. 2004; 33 (1).
- [6] Vera J., Autismo temprano, neuronas espejo, empatía, integración sensorial, intersubjetividad. *Cuadernos de Psiquiatría y Psicoterapia del Niño y del Adolescente*, 2012; 54 (1): 79-91.
- [7] Vázquez M. Trastorno del espectro autista. Departamento de Educación Especial Aguascalientes. México, 2014.
- [8] Valdez D., Ruggieri V. Autismo, del diagnóstico al tratamiento. Editorial Paidós. Buenos Aires. 2011.
- [9] Centro para el Control y Prevención de las Enfermedades (CDC) [Internet]. Prevalencia del autismo levemente más alta según informe de la Red ADDM de los CDC. [Citado 18 septiembre de 2018]. Disponible en: https://www.cdc.gov/spanish/mediosdecomunicacion/comunicados/p_prevencion-autismo_042618.html.
- [10] Organización mundial de la Salud (WHO) [Internet]. Trastornos del espectro autista [Citado 18 octubre de 2018]. Disponible en: <http://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/autism-spectrum-disorders>.
- [11] Ramachandran, VS. Mirror neurons and imitation learning as the driving force behind "the great leap forward" in human evolution. *Revista Edge*. 2009; 1 (6).
- [12] Bautista J., Navarro JR. Neuronas espejo y el aprendizaje en anestesia. *Rev Fac Med*. 2011; 59:339-351.
- [13] Hobson HM, Bishop DVM. The interpretation of mu suppression as an index of mirror neuron activity: past, present and future. *R. Soc. open sci.* 4: 2017. 160662. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.160662>.
- [14] Oberman, L., Hubbard, E., McCleeryb, J., Altschulera, E., Ramachandrana, V., Pinedad, J. EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Cognitive Brain Research*. 2005; 24 (2): 190-198.
- [15] Ramos, F., Morales, G., Egózcue, S., Pabón, R., Alonso, M. Técnicas básicas de electroencefalografía: principios y aplicaciones clínicas. Servicio de Neurofisiología Clínica del Hospital Virgen del Camino. Pamplona. 2009; 32 (3): 69-82.
- [16] Fox NA, Bakermans-Kranenburg MJ, Yoo KH, Bowman LC, Cannon EN, Vanderwert RE, Ferrari PF, van IJzendoorn MH. 2015 Assessing human mirror activity with EEG mu rhythm: a meta-analysis. *Psychol. Bull.* 142, 291–313. (doi:10.1037/bul0000031).
- [17] Roussos, J. El diseño de caso único en investigación en psicología clínica, Un vínculo entre la investigación y a práctica clínica. *Revista Argentina de Clínica Psicológica*. 2007; 16 (3): 161-170.
- [18] Talamillo, T. Manual básico para enfermeros en electroencefalografía. *Revista de la Junta Médica de Andalucía, Enfermería Docente*. 2011; 94: 29-33.
- [19] Asociación Médica Mundial (AMM).

Declaración de Helsinki de la AMM - Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos. Disponible en: http://www.anmat.gov.ar/comunicados/HE_LSINSKI_2013.pdf. Última visita: mayo 2018.

[20] González, J. Transformadas Wavelet impacto fundamental en procesamiento de señales y compresión de imágenes. Tesis de la Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. 2014.