

## Procesamiento de señales EEG de un niño con TEA al desarrollar actividades de lectoescritura: determinación de potencia y cronología de eventos

Esqueda Elizondo José Jaime<sup>1</sup>, De la Rosa Vargas José Ismael<sup>2</sup>, Bermúdez Encarnación Enrique Guadalupe<sup>1</sup>, Roa Rico David Octavio<sup>1</sup>, González Vivas Blanca Anjélica<sup>1</sup>, González Ramírez Erik Omar<sup>1</sup>, Brito Calvo Sara Jessica, López Quezada Sarai<sup>3</sup>, Solano Mendivil Cecilia del Carmen<sup>1</sup>, Pinto Ramos Marco A<sup>1</sup>, Jiménez Beristáin Laura<sup>1</sup>, Trujillo Toledo Diego Armando<sup>1</sup>, Chávez Guzmán Carlos Alberto<sup>1</sup>

Universidad Autónoma de Baja California<sup>1</sup>  
Calzada Universidad #14418, Parque Industrial Internacional  
Tijuana, B.C., C.P. 22390

Email: [jjesqueda@uabc.edu.mx](mailto:jjesqueda@uabc.edu.mx), [ismaelrv@ieee.org](mailto:ismaelrv@ieee.org), [ebermudez@uabc.edu.mx](mailto:ebermudez@uabc.edu.mx), [road@uabc.edu.mx](mailto:road@uabc.edu.mx),  
[anjelica.gonzalez@uabc.edu.mx](mailto:anjelica.gonzalez@uabc.edu.mx), [erik.gonzalez7@uabc.edu.mx](mailto:erik.gonzalez7@uabc.edu.mx), [sbrito@uabc.edu.mx](mailto:sbrito@uabc.edu.mx), [saraylq12@gmail.com](mailto:saraylq12@gmail.com),  
[cecilia.solano@uabc.edu.mx](mailto:cecilia.solano@uabc.edu.mx), [mpinto@uabc.edu.mx](mailto:mpinto@uabc.edu.mx), [ljimenezb@uabc.edu.mx](mailto:ljimenezb@uabc.edu.mx),  
[dtrujillotoledo@uabc.edu.mx](mailto:dtrujillotoledo@uabc.edu.mx), [cchavez@uabc.edu.mx](mailto:cchavez@uabc.edu.mx)

Universidad Autónoma de Zacatecas<sup>2</sup>  
Avenida López Velarde S/N, Zona Centro.  
Zacatecas, Zacatecas, C. P. 98000

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología<sup>3</sup> del Instituto Politécnico Nacional  
Av. Acueducto de Guadalupe S/N, Gustavo A Madero, Barrio La Laguna Ticomán,  
Ciudad de México, CP 07340

### RESUMEN.

Se presenta el análisis y procesamiento de señales electroencefalográficas (EEG) de un niño de 10 años con Trastorno del Espectro Autista al desarrollar actividades de lectoescritura, en este caso, relacionar en pruebas sucesivas palabras con su imagen representativa, como la palabra manzana con una imagen de una manzana. Una vez adquiridas las muestras, se lleva a cabo un análisis de potencia para cada canal mediante el Teorema de Wiener – Khinchine y posteriormente, mediante la Transformada Wavelet se determinan los momentos en los que hubo mayor actividad en cada electrodo. Con esta información se presenta la cronología de eventos de activación registrada por cada electrodo.

**Palabras Clave:** Trastorno del Espectro Autista, Potencia, señal electroencefalográfica, Transformada Wavelet.

### ABSTRACT.

The electroencephalographic (EEG) signal processing and its analysis for a 10 years old child with autism spectrum disorder (ASD) doing some literacy activities is proposed in the present paper. In this case, the child matches words like apple with the image of an apple. Once the signals are acquired, a power spectrum analysis is done in order to determine the power of each channel using the Wiener – Khinchine Theorem, and then a time-frequency analysis is done with the Wavelet Transform in order to find the time moments that have more activity in each electrode. With this information an event chronology can be made, so we can know what happens in each electrode during the test.

**Keywords:** Autism Spectrum Disorder, Power, electroencephalographic signal, Wavelet Transform.

### 1. INTRODUCCIÓN

Según la Sociedad de Autismo (Autism Society) de Estados Unidos, el autismo es una incapacidad que afecta al desarrollo mental de las personas y se manifiesta en los primeros tres años de vida. Este trastorno neurológico afecta el funcionamiento del cerebro y generalmente se presentan en uno de cada 68 personas y es cuatro veces más frecuente en niños que en niñas. Asimismo, se presenta en todos los estratos sociales y etnias, es decir, el ingreso económico, la calidad de vida, el nivel educativo de la familia y otros factores no afectan la posibilidad de que esto ocurra y se le considera como la tercer discapacidad más común del desarrollo y es aún más común que el Síndrome de Down.

El autismo (del griego auto- αὐτός 'que actúa sobre sí mismo o por sí mismo' e -ismos 'proceso patológico'[1]) es un trastorno del neurodesarrollo caracterizado por alteración de la interacción social, comunicación verbal, no verbal, el comportamiento restringido y repetitivo. Los padres generalmente notan signos en los tres primeros años de vida de su hijo [2]. Estos normalmente se desarrollan gradualmente, pero algunos niños con autismo alcanzan sus hitos del desarrollo a un ritmo normal y luego sufren regresión [3]. Asimismo, es un trastorno que se presenta de por vida. Actualmente, se ha cambiado la denominación a Trastorno del Espectro Autista (TEA).

Este trastorno ocasiona discapacidad cualitativa de interacción social, así como discapacidad cualitativa en la comunicación. Se caracteriza por tener patrones restringidos,

repetitivos y estereotipados, de comportamiento, intereses y actividades. Epidemiológicamente afecta de una manera muy acelerada a una población de niños, lo que según [10] (2004) refería uno de cada 10,000 en Estados Unidos el Center for Disease Control and Prevention (CDC) [13] sugiere actualmente una prevalencia de 1 en 68, por lo que es preponderante generar investigación al respecto.

En cuanto a la distribución anatómica de la actividad cerebral, los investigadores hablan de predominancia, de actividad eléctrica en el hemisferio derecho, lo que constata en [8] como las actividades emparejadas le denotan predominancia al hemisferio derecho.

Dentro de los algoritmos empleados actualmente en electroencefalografía se encuentran: estimación espectral, periodogramas, método de máxima entropía, modelos autorregresivos (AR) y de promedio móvil (MA), modelos autorregresivos con promedio móvil (ARMA), máxima verosimilitud, transformada Wavelet y otros más que se basan en otros tipos de distribuciones energéticas en Tiempo – Frecuencia [14].

Parte del proceso de desarrollo de la lectoescritura es el poder relacionar palabras con su imagen, como una manzana con su imagen representativa. Para llegar al proceso de la lectoescritura previamente hay que trabajar mucho en la parte sensorial y conductual, para lograr que el niño se siente y enfoque su atención en actividades que requieren mayor carga cognitiva.

El objetivo de este protocolo de prueba es cuantizar la potencia de las señales electroencefalográficas (EEG) en cada electrodo adquirida cuando un niño con TEA desarrolla actividades para relacionar palabras conocidas por él con sus imágenes correspondientes, por ejemplo una figura de una manzana con la palabra manzana. Se realizan dos pruebas con un intervalo de cinco minutos entre ellas y se comparan las potencias de ambas pruebas. Posteriormente, se obtiene la coherencia del mismo electrodo en ambas pruebas y también mediante la Transformada Wavelet se registran los momentos en los que hubo mayor actividad por electrodo, mostrándose como una herramienta muy útil para la cronología de eventos que se llevan a cabo en una señal.

## 2. ADQUISICIÓN DE LAS SEÑALES ENCEFALOGRÁFICAS

En la figura 1a) se muestra la distribución de los catorce electrodos de la diadema (headset) Epoc (fabricada por la empresa Emotiv) utilizada [4 – 6], más dos electrodos que se utilizan como referencia. En [5] y [6] se presenta un comparativo entre la plataforma Epoc y un EEG tradicional. Los electrodos se distribuyen en la parte occipital, parietal y frontal de la cabeza, su nomenclatura indica la región de la misma donde están ubicados: frontal (F), central (C), parietal (P), occipital (O), temporal (T) y fronto – parietal (FP). En la figura 1b) se muestra la posición de los electrodos (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, AF4, F8, F4, FC6, T8, P8 y O2) del EPOC

y en [6] se presenta la comparación con la distribución de los electrodos de un encefalógrafo tradicional de 64 electrodos. Hay que resaltar que los electrodos CMS y DRL son usados como referencia y que este equipo comercial es capaz de adquirir señales encefalográficas confiables, tal como lo presentan [5, 6]. Asimismo, el headset o diadema tiene un ADC de 16 bits, con una resolución de 0.51  $\mu\text{V}$  y descarta los dos bits menos significativos para minimizar los efectos del ruido.

La herramienta EPOC tiene una frecuencia interna de 2048 Hz para eliminar señales de muy alta frecuencia de otros aparatos que pueden llegar a generar alias a las señales del cerebro. Posteriormente, la señal es filtrada y reducida a un ancho de banda de muestreo de 128 Hz por el diseño del fabricante (128 muestras por segundo, SPS), para la transmisión inalámbrica. Finalmente la señal se limita con un filtro digital (de 0.2 a 45 Hz) a un ancho de banda de 43 Hz para evitar interferencias de 50 y 60 Hz.

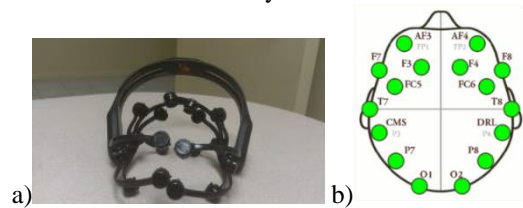


Figura 1a) Diadema (headset) Epoc Emotiv y 1b) la distribución de los electrodos en la cabeza.

## 3. ALGORITMOS EMPLEADOS

Las muestras obtenidas en cada prueba se procesan y analizan en Matlab, mediante una metodología basada en el Teorema de Wiener – Khinchine (Transformada de Fourier de la Autocorrelación,  $S_{xx}(f) = \mathfrak{F}[R_{xx}(\tau)]$ ) y descrita a continuación [4], con la cual se extrae la potencia en Watts de cada electrodo y se divide en cada una de las bandas de frecuencia.

### 3.1. Teorema de Wiener – Khinchine

El Teorema de Wiener – Khinchine [4, 6], expresa que la Densidad Espectral de Potencia (DEP) y la Correlación son pares Transformados de Fourier, es decir:

$$S_{xx}(f) = \mathfrak{F}[R_{xx}(\tau)], \quad (1)$$

$$R_{xx}(\tau) = \mathfrak{F}^{-1}[S_{xx}(f)]. \quad (2)$$

Dónde  $S_{xx}(f)$  es el autoespectro o Densidad Espectral de Potencia y  $R_{xx}(\tau)$  es la Autocorrelación, ambas referidas a la señal  $x(t)$ . En [8] se presenta el algoritmo empleado para estas pruebas.

### 3.2 Transformada Wavelet

La transformada Wavelet es una herramienta matemática que permite llevar a cabo el análisis Tiempo – Frecuencia en una

señal. Esto representa una gran ventaja comparada con algoritmos basados en la Transformada Discreta de Fourier, ya que con Fourier se puede saber qué componentes frecuenciales se encuentran presentes en una señal, sin embargo no se puede saber en qué momento de tiempo se presentaron, cosa que sí se puede saber con el uso de la Transformada Wavelet.

#### 4. EXPERIMENTOS DESARROLLADOS

Para este trabajo se toma un electroencefalograma a un niño con Trastorno del Espectro Autista de 10 años al desarrollar la actividad de relacionar palabras con imágenes, actividad que es común en su terapia. En la figura 2 se muestran las hojas con las actividades que se realizaron. Cabe hacer mención que la terapeuta del niño prepara estas hojas de actividades de acuerdo al avance del niño y de las palabras que maneja. Para este caso, introdujo dos palabras que el niño no conocía en cada hoja y la duración de cada prueba fue de un minuto cada una.

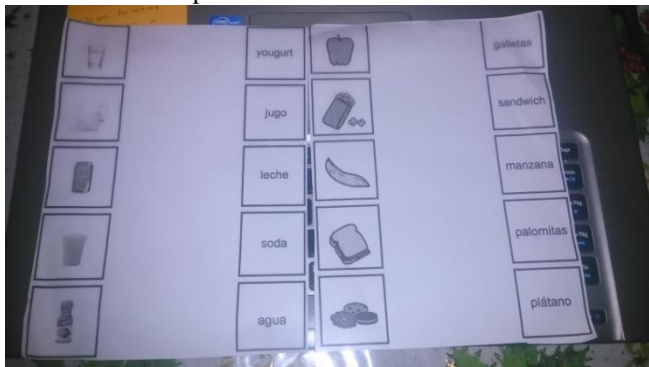


Figura 2. Ejercicio desarrollado para la prueba.

##### 4.1 Procedimiento

Primero se determina la potencia total mediante el Teorema de Wiener – Khintchine, posteriormente se obtiene la Transformada Wavelet de todos los electrodos para llevar a cabo el análisis Tiempo – Frecuencia que permita ver los intervalos de aumento. Se observó que el niño comenzó a relacionar las palabras conocidas, dejando al final las desconocidas. Primero se trabajó con la hoja de la izquierda y posteriormente con la de la derecha, con una pausa de aproximadamente cinco minutos entre ambas pruebas. En la Tabla 1 y en la figura 3 se muestran las potencias totales registradas en ambas pruebas. Se observa que en ambas pruebas el electrodo que registró mayor actividad fue el F4, seguido del T8 y en tercer lugar, los electrodos P8 para la primera prueba y P7 para la segunda prueba.

##### Cronología de eventos

Para la cronología de eventos se utiliza la transformada Wavelet continua (función CWT) con Wavelets tipo Haar, de 8 particiones por octava y 16 escalas. Para estas pruebas no se consideran ni los primeros ni los últimos 0.5 segundos para la determinación de los momentos de actividad importante.

Examinando con detalle cada escalograma, se puede determinar los intervalos de tiempo en los que se producen eventos de mayor potencia, basándonos en la observación de estos cambios de tono de cada gráfica.

Tabla 1. Potencias totales registradas por prueba.

	Izquierdo (nW)		Derecho (nW)		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2	
AF3	17.542	25.43	AF4	14.561	5.29
F7	5.4966	3.61	F8	7.8751	2.67
F3	5.188	23.31	F4	85.518	138.33
FC5	2.644	0.95	FC6	10.294	4.56
T7	16.961	13.70	T8	42.391	46.34
P7	22.905	30.22	P8	29.369	6.88
O1	11.951	9.19	O2	26.637	11.97

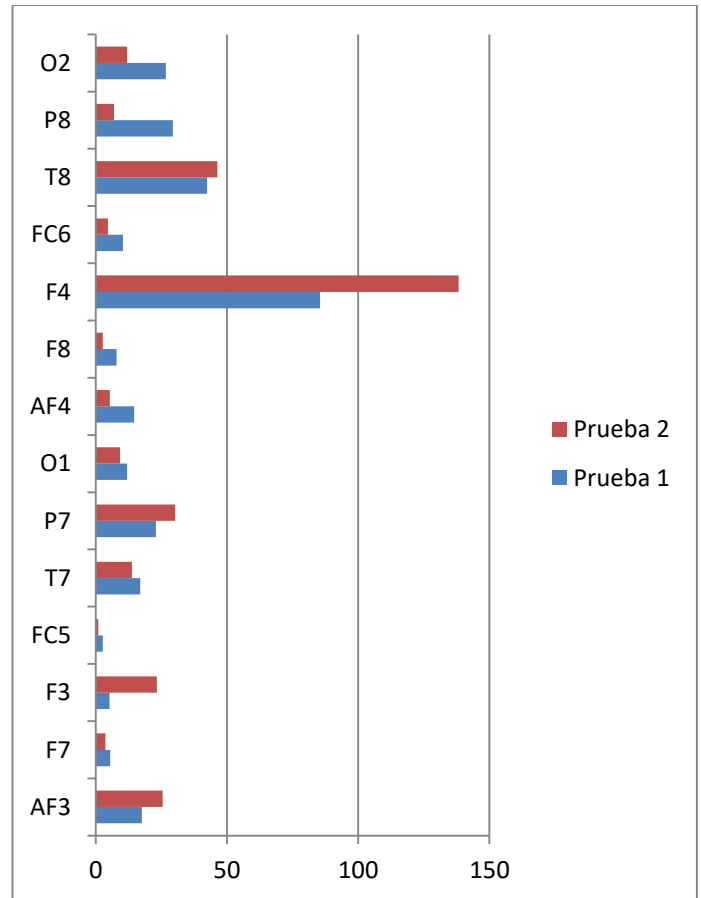


Figura 3. Potencias totales en nano Watts para cada electrodo en ambas pruebas.

De la Figura 4 se observa que hubo un incremento en la actividad alrededor de los 10 segundos, 17-18 segundos, 24 a 29 segundos, 46-47 segundos y de 53 a 58 segundos. Al final

de la prueba se presenta actividad importante, pero representa el momento en el que el niño dice que terminó el ejercicio.

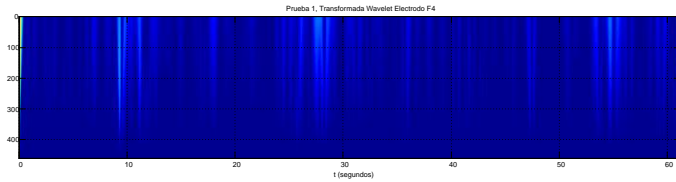


Figura 4. Transformada Wavelet de la primera prueba en el electrodo con mayor potencia registrada (F4).

En la figura 5 se muestra la Transformada Wavelet del electrodo T8, el cuál registró la segunda mayor potencia. El análisis muestra que se presentó actividad importante alrededor de los 9 a 10.5 segundos, 11 a 13.5 segundos, 16.2 a 17.9 segundos, 24.32 a 28 segundos, 28.5 a 30.5, 47 segundos, y un grupo de actividad de 53.5 a 58 segundos. Sin embargo, en las pruebas de coherencia se observa que hubo mayor coherencia en el electrodo F4 que en el T8.

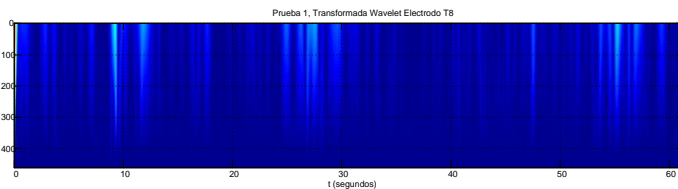


Figura 5. Transformada Wavelet de la primera prueba en el segundo electrodo con mayor potencia (T8).

#### 4.2 Comportamiento de los demás electrodos

Al analizar los demás canales con la Transformada Wavelet, se observó que tuvieron momentos de intensa actividad, aunque las potencias totales de dichos electrodos fueron mucho menores, tal como se muestra en la Tabla 2. Para todos los demás electrodos se repitió el mismo procedimiento.

En la figura 6 se muestran los momentos de mayor actividad del electrodo F3 que se presentaron en los segundos: 9.15 al 9.57, seguido de otro evento del segundo 10.79 al 11.09 finalmente se presenta otro evento importante del segundo 27.35 al 27.58. Estos eventos se muestran marcados con un círculo rojo.

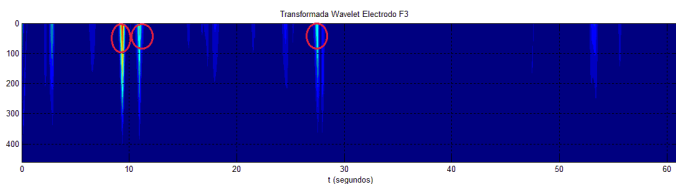


Figura 6. Transformada Wavelet del electrodo F3 en la primera prueba.

En la figura 7 se muestra el comportamiento de la señal del electrodo O2, se observa actividad importante alrededor de 6.65 al 7.38 segundos y de 8.89 a 9.4 segundos. Se detecta otro evento de 17.45 a 18.16 segundos, seguido de otro episodio de actividad de 19.36 a 19.8. Por último, un evento de 24.74 a 25.33 segundos, seguido de otro de 26.73 a 27.23 segundos.

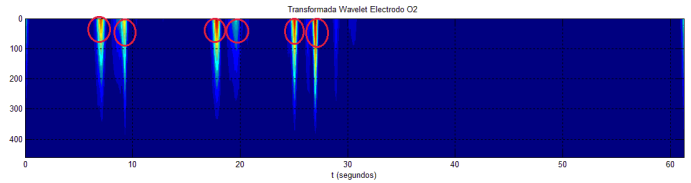


Figura 7. Transformada Wavelet del electrodo O2 en la primera prueba.

El electrodo AF4 registró más episodios de alta actividad que los demás y se muestra en la figura 8. El primero de ellos se encontró de 6.57 a 6.93 segundos, seguido de otro episodio de 9.13 a 9.32. A continuación un evento detectado de 24.38 a 24.8 segundos. Por último, se detectan tres episodios de alta actividad, uno de 17.13 a 17.51, muy próximo se encuentra otro episodio de 25.34 a 25.82 segundos, seguido del último evento de 26.57 a 27.65.

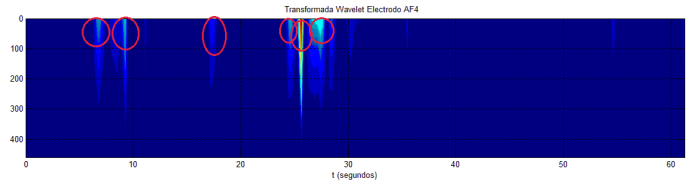


Figura 8. Transformada Wavelet del electrodo AF4 en la primera prueba.

En las figuras 9 y 10 se presentan las gráficas de dispersión de la primera y segunda prueba, respectivamente, en las que se muestra los momentos de actividad importante en todos los electrodos en función del tiempo, con la cual se pueden apreciar los momentos de actividad conjunta de todos los electrodos. En el eje horizontal se presenta la línea de tiempo, mientras que en el eje vertical se presentan los electrodos.

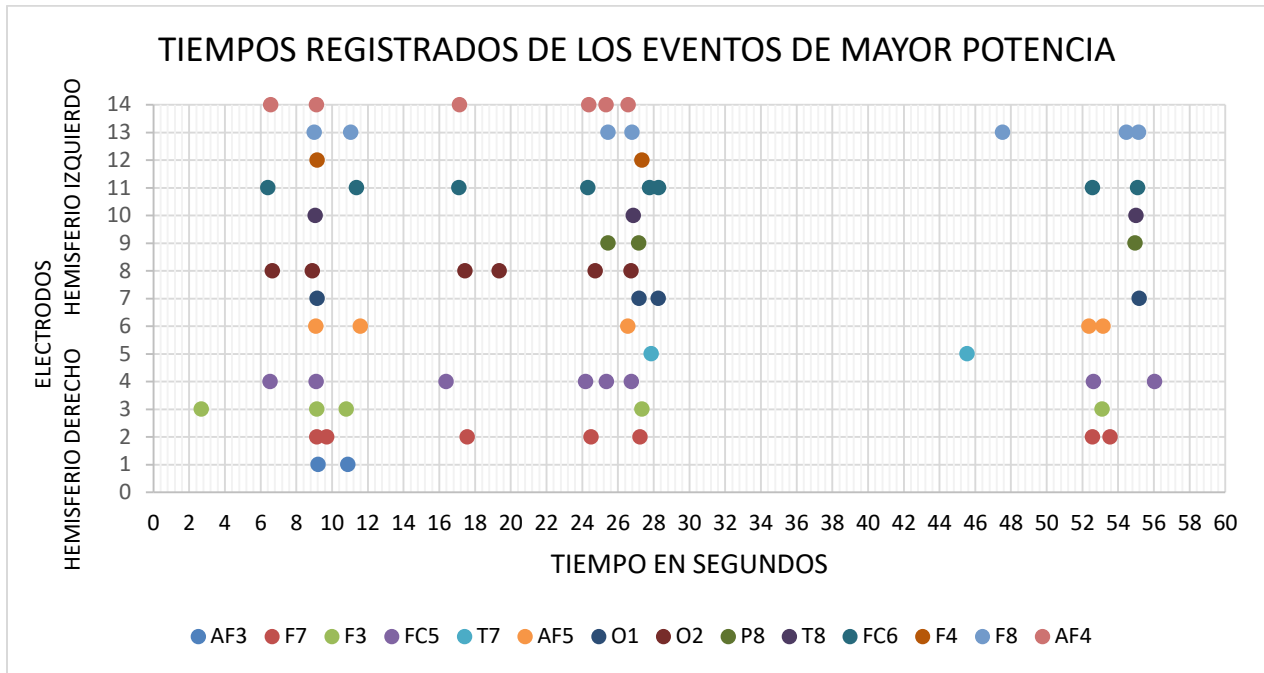


Figura 9. Momentos de actividad importante de los electrodos en la primera prueba.

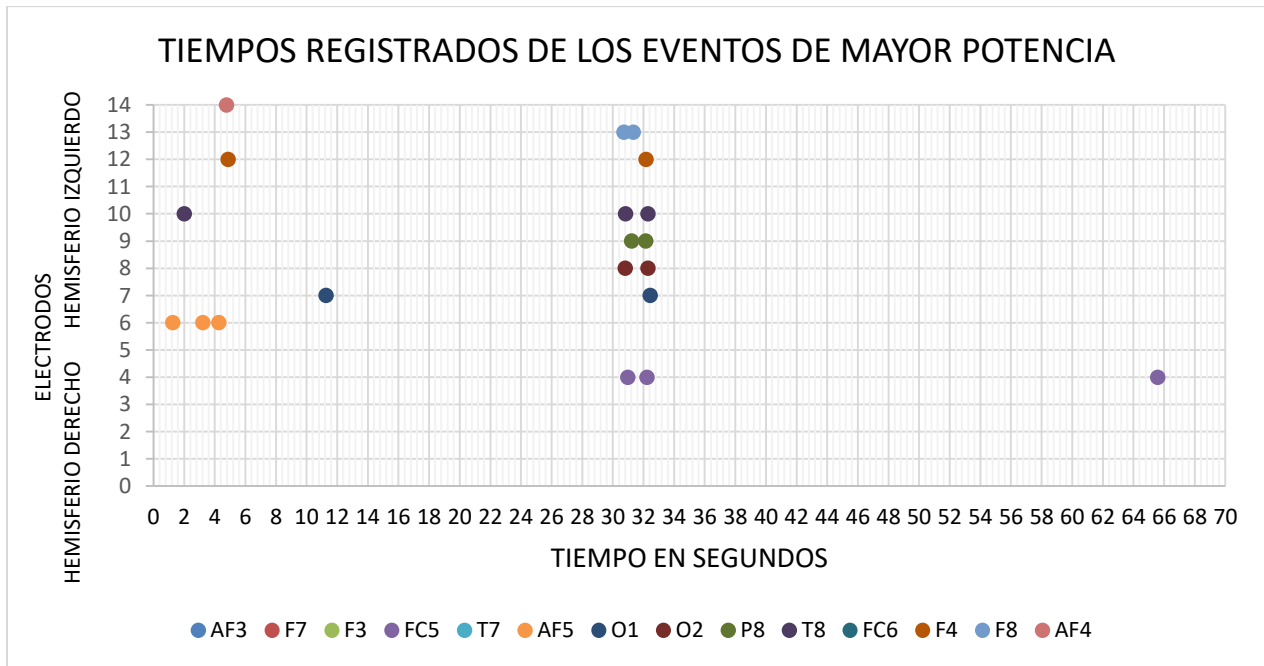


Figura 10. Momentos de actividad importante de los electrodos en la segunda prueba.

En la figura 9 se observan cuatro intervalos donde hubo más electrodos con gran actividad al mismo tiempo en la primera prueba. El primero ocurre aproximadamente del segundo 6 al 12 y corresponde al momento de revisar la hoja y comenzar a

relacionar las palabras conocidas. El segundo intervalo se presenta del segundo 16 al 20 y corresponde al momento de terminar de relacionar las palabras conocidas. Mientras que el tercer momento que se presenta del segundo 24 al 29 corresponde a las palabras desconocidas. Finalmente se



presenta un último grupo de actividad del segundo 52 al 56 y corresponde a una corrección que hizo. De forma aislada se presentaron otros momentos de actividad pero en un solo electrodo.

De la figura 10 se observa que sólo hubo dos momentos de actividad conjunta importante, del segundo 1 al 5, donde otra vez comenzó con las palabras conocidas. El segundo intervalo va del segundo 28 al 33 y corresponde a las palabras desconocidas. También en esta prueba se presentaron otros momentos de actividad aislada de un electrodo.

## 5. DISCUSIÓN

Durante las pruebas, el niño comenzó relacionando las tres palabras conocidas durante el primer tercio del tiempo, después centra su atención a las palabras desconocidas, se equivoca y rectifica al hacer una nueva línea para unir la información de forma correcta. Se observó que durante la primera prueba hubo más cantidad de momentos notables que en la segunda prueba. Se observa que la mayor activación se lleva a cabo en el segundo tercio de la prueba.

## 6. CONCLUSIONES

Se concluye que la Transformada Wavelet es una herramienta bastante útil como indicador de la cronología de eventos que se llevan a cabo en una señal no determinística, como en este caso un EEG. Dado que el niño comenzó a relacionar las palabras conocidas, se presenta una baja potencia en el primer tercio de la prueba. Se observa también que aproximadamente a la mitad de las pruebas (segundo tercio) se presenta el intervalo de mayor actividad eléctrica, lo que coincide con el momento de lidiar con las palabras desconocidas, lo cual ocasiona un incremento en la potencia al demandar mayor carga cognitiva para tomar la decisión al relacionar las palabras con las imágenes. Es decir, se concluye que al tratar con las palabras desconocidas se presenta una mayor carga cognitiva. Asimismo, se presenta actividad casi simultánea en diversas regiones del cerebro del niño, tal como lo muestran las gráficas de dispersión en dichos momentos. Las muestras recabadas indican que a pesar de que los electrodos F4 en ambas pruebas presentaron la mayor potencia total, no presentaron intervalos de alta activación como otros electrodos.

## 7. REFERENCIAS

- [1] Ediciones Universidad de Salamanca (ed.). «Autismo». Diccionario médico-biológico, histórico y etimológico. Consultado el 9 de abril de 2015.
- [2] Schieve LA, Tian LH, Baio J, Rankin K, Rosenberg D, Wiggins L, Maenner MJ, Yeargin-Allsopp M, Durkin M, Rice C, King L, Kirby RS, Wingate MS, Devine O. *Annals of Epidemiology*. January 2014.
- [3] Myers SM, Johnson CP, “Management of children with autism spectrum disorders”. *Pediatrics*, 2007.
- [4] Wei Lu, Namrata Vaswani, “The Wiener-Khinchine Theorem for non-wide Sense stationary Random Processes” ePrint arXiv:0904.0602, 2009

- [5] Stefanatos GA, “Regression in autistic spectrum disorders”, *Neuropsychol Rev* 18, 2008.
- [6] José Jaime Esqueda, Laura Jiménez Beristaín, Roberto Alejandro Reyes Martínez, Adán Camacho Perales, Eugenio Mena Quevedo, Jesús Alberto Roque Sandoval, “Metodología para el análisis de señales encefalográficas en actividades lúdicas”, Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Celaya 2014.
- [7] Kridsakron Yaomane, Seth Pan-ngum, Pasin Irasena Na Ayuthaya, “Brian Signal Detection Methodology for Attention Training using minimal EEG channels”, 2012 tenth International Conference on ICT and Knowledge Engineering, 2012.
- [8] Matthieu Duvinage, Thierry Castermans, Thierry Dutoit, M. Petieau, T. Hoellinger, C. De Saedeleer, K. Seetharaman, and G. Cheron, “AP300-Based quantitative comparison between the Emotiv EPOC headset and a medical EEG device,” in *Proc. Biomedical Engineering*, track 764-071, February 15-17, 2012.
- [9] John G. Proakis. Dimitris G. Manolakis (2007). *Digital Signal Processing principles, algorithms, and applications*, PRENTICE HALL /PEARSON. S.B.N. 0-13-187374-1.
- [10] José Jaime Esqueda, Enrique E. Bermúdez, Laura Jiménez Beristaín, Yesenia Rojo Ramírez, Paul Eriel Mungía, José Ma. Zaragoza Villa, “Análisis de señales electroencefalográficas en un niño con autismo realizando diferentes actividades de aprendizaje”, Congreso Internacional en Ingeniería Electrónica. Mem. Electro 2015, Vol. 37, pp 181-186, Chihuahua, Chih. México.
- [11] Ramesh Srinivasan, Willia R. Winter, Jian Ding, Paul L Nunez, EEG and MEG coherence: measures of functional connectivity at distinct spatial scales of neocortical dynamics, *J Neurosci Methods*, October 2007.
- [12] Blaxil M. F., “What’s going on: the question of time trends in autism”, *Public Health Rep*, 2004.
- [13] Centers for Disease Control, “Prevalence of the Autism Spectrum Disorders (ASD)”, 2017.
- [14] B. Boashash, *Time frequency Signal Analysis and Processing: A Comprehensive Reference*, Elsevier, Oxford, UK, 2003.