

ANÁLISIS DE SEÑALES ELECTROENCEFALOGRÁFICAS EN UN NIÑO CON AUTISMO REALIZANDO DIFERENTES ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Esqueda Elizondo José Jaime, Bermúdez Encarnación Enrique Guadalupe, Jiménez Beristáin Laura, Rojo Ramírez Yesenia, Ruiz Morales Angélica, Munguía Carrillo Paul Eriel, Zaragoza Villa José María

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería.

Universidad Autónoma de Baja California.

Calzada Tecnológico 14418, Mesa de Otay, Tijuana, B.C., CP. 22390

+52 (664) 682 1033 – 5800

Email: jjesqueda@uabc.edu.mx, ebermudez@uabc.edu.mx, ljimenezb@uabc.edu.mx,
yesenia.rojo@uabc.edu.mx, ruiz.angelica@uabc.edu.mx, paul.munguia@uabc.edu.mx,
jose.maria.zaragoza.villa@uabc.edu.mx

RESUMEN.

Este trabajo presenta el análisis de las señales electroencefalográficas (EEG) de un niño diagnosticado con un trastorno del espectro autista (TEA) al desarrollar diversas actividades de aprendizaje. Se toman electroencefalogramas mientras el niño realiza actividades de emparejamiento, canta, realiza ejercicios de motricidad fina y arma un rompecabezas. Las señales adquiridas se procesan para determinar la región del cerebro que tuvo mayor actividad (potencia) y en qué banda de frecuencia se presentó la mayor actividad. Asimismo, se comparan estos resultados con los de una niña de la misma edad, pero sin TEA, desarrollando las mismas actividades.

Palabras Clave: EEG, Densidad Espectral de Potencia, TEA

ABSTRACT.

The analysis of the electroencephalographic signals from a child with autism spectrum disorder (ASD) doing some learning activities is shown. The EEG signals are taken while he performs learning activities like pairing, singing a known song, fine motor skills and solves a puzzle. The acquired signals are processed in order to determine which electrode registered the highest brain activity (power) and also in which frequency band. Finally, these signals are compared with the EEG of a same age girl without ASD doing the same activities.

Keywords: EEG, Power Spectral Density, ASD

1. INTRODUCCIÓN

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. Ocurre aproximadamente en 1 de cada 500 nacimientos y es cuatro veces más común en niños que en niñas y se encuentra en todo tipo de razas, etnias y clases sociales en todo el mundo. No se conoce aún ningún factor determinante como causa directa de autismo. Desde el punto de vista electroencefalográfico, se registran generalmente frecuencias de onda corticales y parece ser que no existe en este espectro un fenómeno de intercomunicación con planos más profundos que permitan una integración de conciencia en donde el individuo que vive esta condición pueda elaborar situaciones de carácter complejo como afectividad, enojo razonado, atención interesada, entusiasmo y otros sentimientos característicos de estos fenómenos de conciencia.

Las personas con TEA pueden carecer de imaginación, tener intereses muy obsesivos y limitados así como manifestar fuerte adherencia a rutinas. El autismo es el resultado de un problema orgánico y no de la forma en que es educado el niño/a. Cada persona con autismo es diferente, presenta habilidades y retos de manera particular, por lo que hoy en día se habla de "Espectro Autista". Baja California registra un alto índice de casos de autismo. Se calcula que de mil nacimientos en Tijuana, uno padece autismo y el Sistema Educativo Estatal (SEE) solamente ha incluido a 190 alumnos autistas en escuelas públicas, desde nivel inicial (previo al preescolar) hasta secundaria.

El objetivo de este caso de estudio es cuantizar la potencia (por bandas y total) de las señales electroencefalográficas en cada electrodo adquiridas cuando un niño con TEA desarrolla actividades de aprendizaje. Asimismo, se presenta la comparación con una niña de la misma edad (8 años), sin TEA, desarrollando las mismas actividades.

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 con muy buena calidad [5,6]. Asimismo, el headset tiene un ADC de 16 bits, con una resolución de $0.51 \mu V$ y descarta los dos bits menos significativos para minimizar los efectos del ruido instrumental.

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 (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. En la Tabla 1 se muestran los rangos de frecuencia en los que se clasifican las señales encefalográficas.

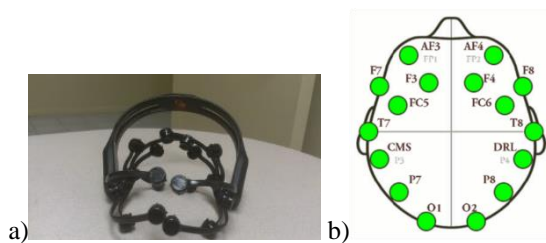


Figura 1a) Diadema (headset) EPOC Emotiv y 1b) la distribución de los electrodos en la cabeza.

Nombre	Rango de Frecuencias (Hz)	Amplitud (μV)	Situación mental correspondiente
Delta	1 – 4	70 - 100	Sueño profundo, meditación, hemisferio derecho activo
Theta	4 – 8	50 - 100	Estado de vigilia, equilibrio entre hemisferios, armonía
Alfa	8 – 12	20 - 60	Relajación, tranquilidad, creatividad, activación plena hemisferio derecho
Beta	12 – 30	10 - 15	Alerta máxima, normal cuando se está despierto
Ram	30 – 45	200 -	Estrés y confusión

Tabla 1. Rangos de frecuencia, amplitud de señales EEG y su correspondencia

3. ALGORITMOS EMPLEADOS

Las muestras obtenidas en cada prueba se procesan y analizan en Matlab, mediante una metodología basada en el Teorema de Wiener Khintchine (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. De esta forma se puede determinar cuál hemisferio del cerebro presentó mayor actividad, así como también qué electrodo registró la mayor actividad. Asimismo, se puede determinar qué banda de frecuencia fue la más activa en cada hemisferio o región, ver la figura 1b). En la figura 2 se muestra el diagrama a bloques del algoritmo empleado.



Figura 2. Algoritmo empleado

3.1 Teorema de Wiener Khintchine

El Teorema de Wiener-Khintchine [7] expresa que la Densidad Espectral de Potencia 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 $x(t)$.

3.2 Descripción de la metodología

La metodología propuesta no utiliza filtrado para separar las bandas, sino que se dividen directamente a partir del cálculo de $S_{xx}(f)$. De esta forma no se distorsiona la señal. En las secciones subsecuentes se detallan las etapas mostradas en la figura 2.

3.3 Señales EEG

Se adquiere la señal EEG de 14 canales durante un tiempo determinado, en este caso M segundos, dependiendo del periodo de observación de la prueba llevada a cabo para cada una de las actividades establecidas. El número de muestras N para cada prueba se obtiene de:

$$N = f_m * M = 128 \left[\frac{\text{muestras}}{\text{seg}} \right] * M[\text{seg}]$$

3.4 Densidad Espectral $S_{xx}(f)$

La Densidad Espectral de Potencia se calcula usando la señal diferencial aplicando la ecuación (1). Primero se calcula la Autocorrelación numérica de las N muestras con N/4 atrasos y de la muestra N/4 + 1 hasta N-1 se insertan ceros para lograr una interpolación en el dominio de la frecuencia, mejora la estimación. A la secuencia generada con los ceros insertados se le calcula la Transformada Discreta de Fourier (TDF) y el resultado es una nueva secuencia en el dominio de la Frecuencia de 3840 muestras.

3.5 Segmentación

Dado que se conoce de antemano la resolución de la Transformada Discreta de Fourier (TDF), es posible conocer

los índices frecuenciales (localidades de memoria en el arreglo que contiene la TDF), se puede estimar entre qué localidades se almacena la DEP para cada banda. Por lo tanto se separa o recorta la señal al tomar solo las localidades de memoria que definen a cada una de las bandas.

3.6 Autocorrelación $R_{xx}(\tau)$

De acuerdo a la ecuación (2), se puede obtener la autocorrelación de una señal a partir de la Densidad Espectral de Potencia al obtener la Transformada Discreta de Fourier Inversa. Por precaución se toma solo la parte real de la Transformada.

3.7 Potencia por banda

La potencia total de la banda se obtiene mediante una de las propiedades de la autocorrelación, la cual indica que la potencia total se encuentra en la muestra 1 del arreglo que contiene la autocorrelación calculada mediante el Teorema de Wiener Khintchine. Es decir, se aprovecha la propiedad de la autocorrelación: $P_T = R_{xx}(0)$.

4. EXPERIMENTOS REALIZADOS

Para este experimento se trabajó con un niño de 8 años diagnosticado con un Trastorno del Espectro Autista y con una niña de la misma edad, pero sin TEA. El niño el cual tiene limitada comunicación oral, es decir, puede expresar frases sencillas y además obedece instrucciones. El niño se sienta dentro de una cámara semi anecoica para mitigar el ruido externo y mejorar su atención al experimento al también bloquear la vista a la ventana. El niño entra a la cámara con el headset puesto y se realizan algunas pruebas, tales como ensartar sopa en un alambre (motricidad fina), jugar lotería (emparejamiento), cantar y armar un pequeño rompecabezas de 12 piezas. Todas las pruebas fueron grabadas en video, de forma que es posible determinar en qué momento (tiempo) sucedió un evento de interés, tal como un manierismo, como el aleteo, zapateo o generación de sonidos cuando realiza adecuadamente una actividad. Dependiendo del comportamiento del niño, se selecciona la cantidad de muestras a procesar. Finalmente, se repitió el proceso con una niña de la misma edad, sin TEA. Hay que mencionar que todas las actividades desarrolladas son conocidas por ambos niños, el niño asiste a escuela especial y la niña a escuela regular.

4.1 MOTRICIDAD FINA

Esta actividad consiste en que el niño ensarte sopa de pasta en un alambre para poder desarrollar la motricidad fina. En la Figura 3 se utilizaron muestras de los primeros 10 segundos de la prueba, en la cual el niño golpea el piso con el pie izquierdo (manierismo), selecciona la pieza que va a ensartar, se le cae y la recoge; asimismo, se observa un aumento en el nivel de concentración. El eje horizontal corresponde a los diferentes electrodos (ver la figura 1) y el eje vertical corresponde a la

potencia obtenida en Watts. Se observa que hay actividad predominante en los electrodos F7 y P8, mientras que F4 registra una actividad total un poco mayor a la de FC6.

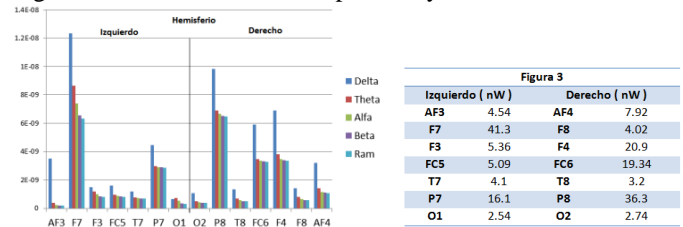


Figura 3. Resultado de potencia por bandas correspondiente a los primeros 10 segundos y la potencia total por electrodo en el niño.

En la figura 4 se muestra un momento en la prueba en el que el niño presenta dificultad, se le cae nuevamente la sopa y la recoge. Se observa que P8 registra la mayor actividad, seguido de F7. El electrodo FC6 registra una actividad total ligeramente mayor a la de F4.

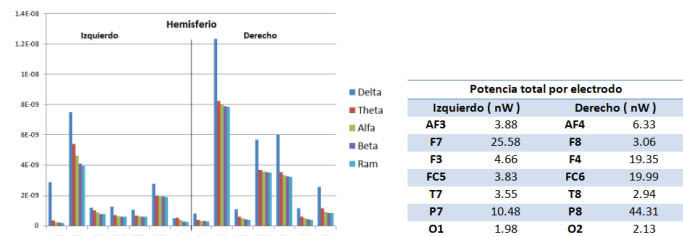


Figura 4. Resultado de potencia por bandas y total por electrodo en el niño.

Para el caso de la niña, hay que mencionar que al desarrollar la actividad no presentó manierismos, como en el caso del niño con TEA. En la figura 5 se nota que los electrodos del hemisferio derecho de la niña registraron mayor actividad, en comparación al hemisferio izquierdo, sin embargo se observa mayor actividad del hemisferio izquierdo en comparación a las demás actividades. Con base en las potencias totales, el electrodo con mayor potencia registrada es P8, después F8 y O2, llegando a potencias de $\times 10^{-7}$.

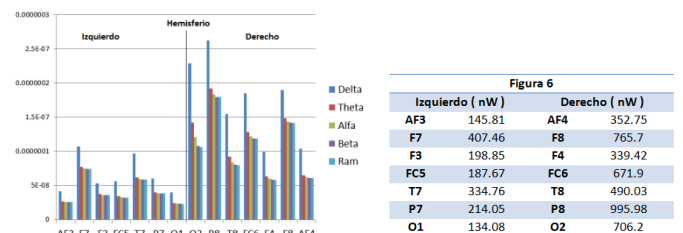


Figura 5. Resultado de potencia por bandas y total por electrodo en la niña.

4.2 EMPAREJAMIENTO

Para la actividad de emparejamiento se trabajó con una lotería tradicional mexicana. En esta actividad se busca que el niño relacione la carta que sale con lo que tiene en su tabla y que la marque. De esta forma, se combina lo auditivo, lo visual y lo espacial. Para este experimento, el niño juega a la lotería con dos tablas, mientras que otra persona juega con otras dos tablas.

En la figura 6 se presentan las mediciones obtenidas al salir una carta que no aparece en ninguna de sus dos tablas. En este caso, el niño dice: “no la tengo” y continúa. Sin embargo, siempre repite la carta que sale, ya sea por su nombre o su número. Por ejemplo, si salen “las jaras”, el niño repite “las jaras” o el número que tiene. Se observa que el electrodo que registra la mayor potencia es FC5, con un valor de 9.74×10^{-9} W, mientras que el siguiente electrodo con mayor potencia fue T8 con una potencia mucho menor, del orden de 4×10^{-9} W.

Cuando si le sale una carta que tiene en ambas tablas, el niño repite la carta, da dos zapateos (manerismos), uno cada vez que pone la ficha sobre la carta que salió en su tabla. En la figura 7 se muestra el resultado obtenido al encontrar la carta en ambas tablas. Se observa un incremento generalizado en casi todos los electrodos, predominando F8 y T8.

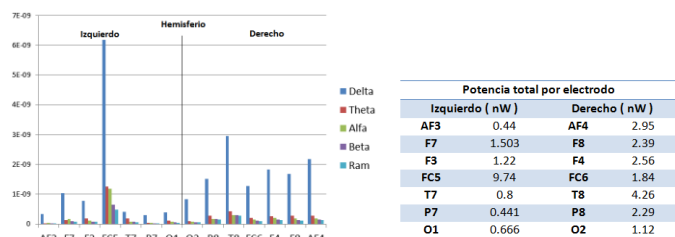


Figura 6. Resultado de potencia por bandas y total por electrodo en el niño al no salir ninguna carta de sus tablas.

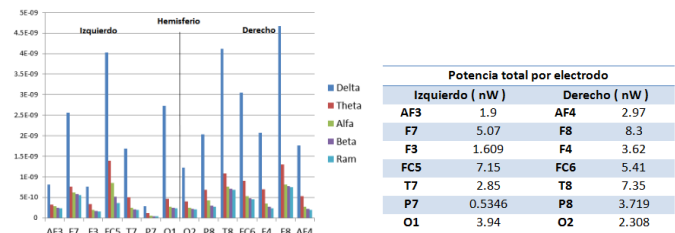


Figura 7. Resultado de potencia por bandas y total por electrodo en el niño al salir una carta en ambas tablas.

En la figura 8 se muestran las potencias en cada electrodo por bandas y por cada electrodo en la niña sin TEA. De acuerdo a la gráfica, se observa que la mayor actividad cerebral fue registrada predominantemente en el hemisferio derecho, aunque también se presenta una gran potencia en el hemisferio izquierdo, pero solo en los electrodos F7 y F3. En la tabla adyacente se observa que la mayor potencia registrada fue en el

electrodo P8 alcanzando 2558.09×10^{-9} W, seguida de FC6 y F8 con potencias similares, siendo F8 ligeramente mayor.

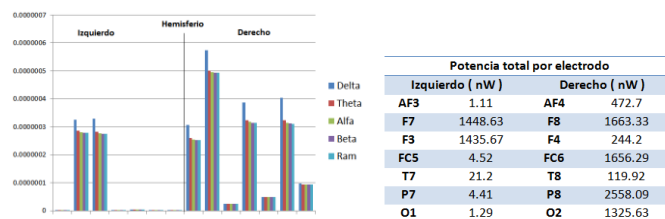


Figura 8. Resultado de potencia por bandas y total por electrodo en la niña al jugar lotería.

4.3 CANTO

Para esta prueba se le puso una canción al niño (solo el audio), conocida por él y se le pidió que la cantara. En la figura 9 se muestra la potencia distribuida por bandas y por electrodo al inicio de la prueba y corresponde a cuatro segundos. En este momento el niño se resistía a cantar y lo hacía de mala gana y muy forzado debido a que quería que le dieran su tablet. Se observa que los electrodos T8 y O1 son los que presentan mayor potencia.

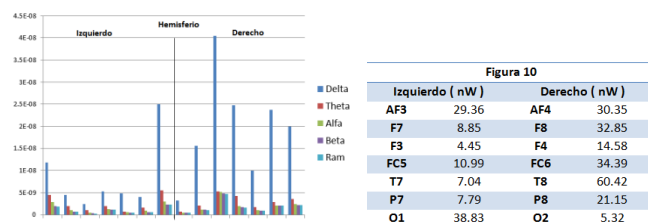


Figura 9. Resultado de potencia por bandas y total por electrodo en el niño al cantar durante cuatro segundos.

Al continuar pidiéndole que cantara sin la tablet, el niño hizo un berrinche. La medición de la figura 10 corresponde a once segundos. En este caso el electrodo F3 registró la mayor potencia. Los electrodos AF3 y F4 registran aproximadamente la misma potencia, pero mucho menor que la registrada por F3.

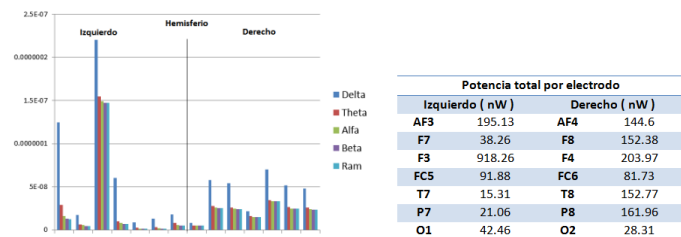


Figura 10. Resultado de potencia por bandas y total por electrodo en el niño al hacer un berrinche.

Posteriormente, se tranquiliza, con lo cual la potencia disminuye de forma generalizada, de valores máximos de 918×10^{-9} W a valores de 76×10^{-9} W. En este momento, el niño

comenzó a cantar, mientras revisaba fotografías en la tablet. En la figura 11 se muestran diez segundos de medición y se observa que los electrodos AF4 y AF3 registran la mayor potencia.

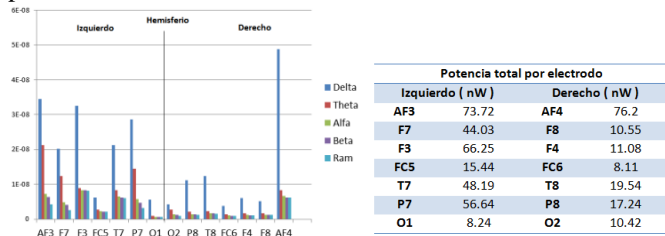


Figura 11. Resultado de potencia por bandas y total por electrodo en el niño.

En la figura 12 se presentan las mediciones durante cinco segundos al cantar y se presentan manierismos de zapateo y de golpetear en la mesa. En este caso, el electrodo que registró la mayor potencia fueron AF3, seguido de F7 y P7, que registraron potencias similares.

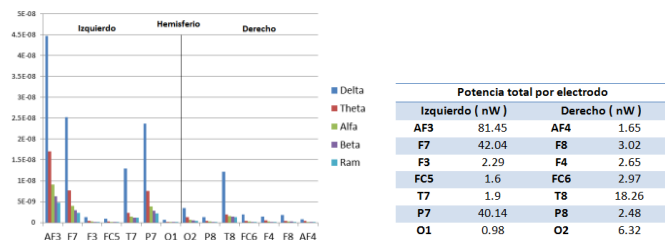


Figura 12. Resultado de potencia por bandas y total por electrodo en el niño al cantar tranquilo.

En la figura 13 se expone el resultado de la señal procesada de la niña al cantar durante 2 minutos. De acuerdo a los resultados procesados, se observa que cuando la niña canta, el hemisferio derecho del cerebro es el que tiene la mayor activación, predominando las ondas Delta. Al obtener la potencia total en cada uno de los electrodos se observa que la mayor potencia está en el electrodo AF4 con potencias de 3975.7×10^{-9} W, seguido del electrodo P8 que tiene una ligera diferencia respecto a F4. Mientras que en los electrodos colocados en el hemisferio izquierdo, su potencia es muy baja, siendo F3 la que registra mayor potencia.

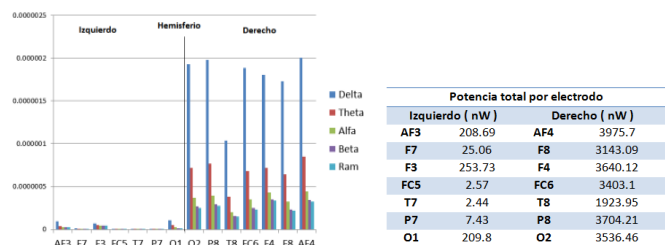


Figura 13. Resultado de potencia por bandas y total por electrodo de la niña al cantar.

4.4 ROMPECABEZAS

Para esta actividad se le pidió al niño que armara un rompecabezas de madera de 12 piezas y se tomaron de dos minutos de muestras, sin importar que no lo terminara. En la figura 14 se presenta la potencia por bandas en cada electrodo y muestra la potencia total registrada en cada uno de los electrodos. Observando las gráficas podemos decir que la actividad en el hemisferio derecho del cerebro presento mayor potencia en comparación al hemisferio izquierdo. De acuerdo a la segunda grafica podemos observar que el electrodo con mayor potencia registrada fue el F8, seguido del electrodo AF4 y después por los electrodos P8 y F4 que registraron potencias similares, siendo P8 ligeramente mayor.

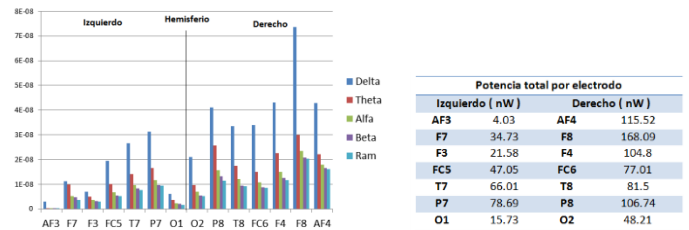


Figura 14. Resultado de potencia por bandas y total por electrodo en el niño al armar el rompecabezas.

En la figura 15 se presenta la potencia por bandas en cada electrodo en la niña y muestra la potencia total registrada en cada uno de los electrodos. Se observa que los electrodos colocados en el hemisferio derecho registraron más actividad cerebral en comparación a los del hemisferio izquierdo, sin embargo el electrodo con mayor potencia registrada se localiza en el hemisferio izquierdo. De acuerdo a las gráficas, el electrodo con mayor potencia registrado es el F7 con 1224.44×10^{-6} W, seguido de P8 con 537.15×10^{-9} W.

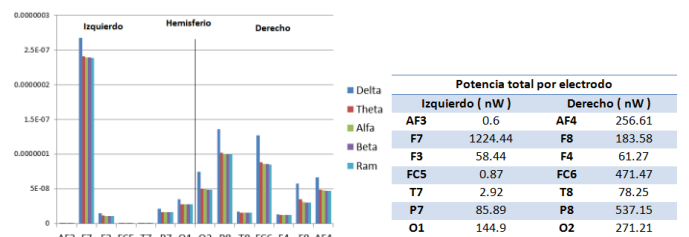


Figura 15. Resultado de potencia por bandas y total por electrodo en la niña al armar el rompecabezas.

5. DISCUSIÓN

De acuerdo a lo observado, durante el proceso de motricidad fina en el niño con autismo, el electrodo que presentó más actividad fue el P8 y si se observan las potencias en la niña se nota que también el electrodo P8 es el que tiene mayor potencia. Ahora bien, si se habla sobre la potencia total de inicio a fin de la prueba, el niño tuvo niveles de potencia más equilibrados entre los dos hemisferios, mientras que en la niña

sin autismo, se reflejó más la actividad cerebral del hemisferio derecho.

En la actividad de emparejamiento, se observa que desde inicio a fin que la actividad cerebral del niño en ambos hemisferios es menor a 10 nW, mientras que la actividad cerebral de la niña tiene mayor potencia en el hemisferio derecho, con valores de hasta 2500 nW, teniendo en cuenta que en el niño la mayor actividad se presentó en los electrodos T8, F8 y FC5, pero se observa que FC5 se mantiene en un nivel de potencia alto, mientras tanto en la niña la mayor actividad solo se presenta en el electrodo P8.

Cuando se compara la actividad de canto, se observó que en el niño la actividad cerebral se ve más distribuida entre los dos hemisferios, mientras que en la niña la actividad cerebral se concentra más en el hemisferio derecho del cerebro.

En la actividad de rompecabezas, se nota que al igual que en las otras actividades, la actividad cerebral de la niña se concentra en el hemisferio derecho, mientras que en el niño la actividad está distribuida más uniformemente entre los dos hemisferios. En el niño la mayor potencia se presenta en el electrodo F8 y en la niña electrodo F7.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo con las observaciones anteriores, se puede concluir que mientras en la niña sin autismo la actividad cerebral se concentra más en un hemisferio en el niño con autismo la actividad está distribuida entre ambos hemisferios. Lo que nos da a entender que al momento de realizar una actividad, la persona autista tiene más regiones cerebrales activas en mayor escala para efectuar una tarea.

Se presenta la potencia total procesada al realizar la misma actividad por el mismo periodo de tiempo (dos minutos) en la niña y su comparación con el niño con TEA. Los resultados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Potencias totales en las pruebas en ambos niños.

Prueba	Potencia en la niña (nW)	Potencia de un niño con TEA (nW)
Motricidad Fina	5,944.73	143.116
Emparejamiento	10,957.1	239.28
Canto	24,036.5	638.034
Rompecabezas	3,377.55	969.69

Los resultados obtenidos muestran que la niña presenta mayor actividad cerebral (potencia) en las cuatro pruebas que el niño con TEA. Dentro del periodo de observación de la prueba de motricidad fina, la niña tuvo mejor desempeño al insertar mayor cantidad de pastas dentro del alambre que el niño. Es interesante mencionar que aunque la niña presentara mayor actividad cerebral y potencia, el niño además de hacer las pruebas, realizaba otras actividades paralelas al ejercicio, como los manierismos, hablar y aun así tenía menor actividad cerebral.

7. AGRADECIMIENTOS

A la psicóloga Lizett Ortega, directora de escuela de educación integral para la persona con autismo, EDUKE, a la ingeniera en electrónica Ana Daysi Ruvalcaba ex alumna de UABC y a Adan Camacho Perales, alumno de UABC por su colaboración y apoyo en este proyecto.

8. REFERENCIAS

- [1] Ediciones Universidad de Salamanca (ed.). «Autismo». Diccionario médico-biológico, histórico y etimológico. Consultado el 9 de abril de 2015. Prabhakar S. Naidu. Sensor Array Signal Processing. CRC Press, 2001
- [2] Myers SM, Johnson CP (2007). «Management of children with autism spectrum disorders». Pediatrics John J. Leonard, Hugh D. Durrant-Whyte. Directed Sonar Sensing for Mobile Robot Navigation. Kluwer Academic Publishers, 1992
- [3] Stefanatos GA (2008). «Regression in autistic spectrum disorders». Neuropsychol Rev 18
- [4] José Jaime Esqueda, Laura Jimenez Beristain, Roberto Alejandro Reyes Martinez, Adan Camacho Perales, Eugenio Mena Quevedo, Jesus Alberto Roque Sandoval, "Metodología para el análisis de señales encefalográficas en actividades lúdicas", Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Celaya 2014
- [5] 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
- [6] 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
- [7] John G. Proakis. Dimitris G. Manolakis (2007). Digital Signal Processing principles, algorithms, and applications, PRENTICE HALL / PEARSON I.S.B.N. 0-13-187374-1.