

Actividad eléctrica no lineal de las ondas beta cerebrales durante una prueba de atención sostenida.



Revista EIA
ISSN 1794-1237
e-ISSN 2463-0950
Año XVIII/ Volumen 18/ Edición N.36
Junio-Diciembre de 2021
Reia36007 pp. 1-13

Publicación científica semestral
Universidad EIA, Envigado, Colombia

✉ FERNANDO MAUREIRA-CID¹
HERNÁN DÍAZ-MUÑOZ²

1. Departamento de Educación Física, Deportes y Recreación. Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación. Santiago de Chile.
2. Departamento de Matemáticas y Ciencias de la Computación. Universidad de Santiago. Santiago de Chile.

PARA CITAR ESTE ARTÍCULO / TO REFERENCE THIS ARTICLE /

Maureira-Cid, F.; Díaz-Muñoz, H.
(2021). Actividad eléctrica no lineal de las ondas beta cerebrales durante una prueba de atención sostenida. Revista EIA, 18(36), Reia36007. pp. 1-13.
<https://doi.org/10.24050/reia.v18i36.1506>

✉ Autor de correspondencia:

Maureira-Cid, F. (Fernando):
Departamento de Educación Física, Deportes y Recreación. Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación. Santiago de Chile.
Correo electrónico:
maureirafernando@yahoo.es

Recibido: 10-02-2021

Aceptado: 19-05-2021

Disponibile online: 01-06-2021

Resumen

Introducción: la atención es un proceso cerebral donde se focaliza selectivamente uno de los estímulos del entorno y desecha la información restante, siendo una función relevante para relacionarse en forma eficiente con el entorno. **Objetivo:** estudiar el comportamiento no-lineal de la oscilación beta (13-30 Hz), evaluado a través del balance caos/orden cerebral (exponente de Hurst), durante la ejecución de una prueba de atención sostenida en estudiantes universitarios. **Método:** la muestra estuvo constituida por 13 estudiantes universitarios varones. Para el registro electroencefalográfico se utilizó el dispositivo cerebro-interfaz Emotiv EPOC® Research Edition utilizando los registros del lóbulo frontal, temporal y occipital. Se analizó el rango de frecuencia de 13 a 30 Hz (onda beta). Para la evaluación de la atención sostenida se utilizó la prueba de Toulouse-Piéron. **Resultados:** durante los dos primeros minutos de la prueba los valores de los exponentes de Hurst presentan asimetrías en la región prefrontal y occipital en tres sujetos con mayor tendencia al caos en la región izquierda y en la región temporal en ocho estudiantes con mayor tendencia al caos en la región derecha. Esta situación se modifica a medida que avanzan los minutos de la prueba. **Conclusión:** Los exponentes de Hurst tienden a disminuir durante la resolución de la prueba de atención, esto permite mayor flexibilidad de procesamiento durante la prueba. Existe mayor tendencia al caos en la región temporal derecha que se relaciona con el reconocimiento de tonos y de contenido fundamental en pruebas de atención sostenida.

Palabras Claves: Electroencefalografía; atención sostenida, ondas beta, exponente de Hurst.

Nonlinear electrical activity of beta brain waves during a sustained attention test.

Abstract

Introduction: Attention is a brain process where selectively focuses one of the stimuli of the environment and discards the remaining information, being a relevant function to relate efficiently with the environment. **Aim:** To study the nonlinear behavior of the beta oscillation (13-30 Hz), evaluated through the chaos balance/brain order (Hurst exponent), during the execution of a sustained attention test in university students. **Method:** The sample consisted of 13 male university students. For the electroencephalographic recording, the brain-interface device Emotiv Epoc Research Edition was used using the frontal, temporal and occipital lobe registers. The frequency range of 13 to 30 Hz (beta wave) was analyzed. The Toulouse-Piéron test was used to evaluate sustained attention. **Results:** during the first two minutes of the test the values of the Hurst exponents present asymmetries in the prefrontal and occipital region in three subjects with greater tendency to chaos in the left region and in the temporal region in eight students with greater tendency to chaos in the right region. This situation changes as the minutes of the test go by. **Conclusion:** Hurst exponents tend to decrease during the resolution of the attention test, this allows for greater processing flexibility during the test. There is a greater tendency to chaos in the right temporal region that is related to tone recognition and critical content in sustained attention tests.

Key Words: *Electroencephalography; sustained attention, beta waves, Hurst exponent.*

Introducción

La atención puede ser definida como un proceso cerebral complejo donde el sujeto focaliza selectivamente uno de los diferentes estímulos del entorno y desecha la información restante Estévez, García y Junque. (1997). Los elementos que determinan la atención son las características del objeto, desde la activación neural frente a un escenario, hasta los intereses y expectativas del sujeto García. (1997). Por su parte, Fernández (2014) afirma que la definición de atención no se encuentra unificada, existiendo múltiples modelos en las últimas décadas, destacándose el planteamiento de Posner y Petersen (1990) quienes proponen las redes anatómicas y cognitivas de la atención, indicando que éstas son independientes y específicas para cada funcionamiento, pero interactuando entre sí. Las redes son: a) de orientación, que se relaciona con la capacidad de selección de información sensorial, principalmente la visual debido a los estudios realizados; b) de vigilancia, que corresponde a la capacidad del sujeto para mantenerse en estado de alerta y; c) ejecutiva, que hace referencia a la capacidad de coordinación voluntaria ante tareas nuevas Fernández-Duque y Posner. (2001).

Otro modelo destacado es el de Mirsky y Duncan (2001) quienes identifican cinco factores denominados como *focalización/ejecución* (capacidad de concentración frente a estímulos que distraen), *atención sostenida* (capacidad de mantener la atención durante un tiempo considerable), *alternancia* (capacidad de cambiar el foco de atención de un estímulo a otro), *codificación* (se relaciona con la memoria y la capaci-

dad de mantener la información en breves segundos) y *estabilidad* (corresponde a la coherencia de respuesta al estímulo).

El electroencefalograma (EEG) es una herramienta muy utilizada para el estudio del sueño, la vigilia, la resolución de problemas, la atención y otras funciones cognitivas Bear, Connors y Paradiso. (2016). Éste consta de electrodos ubicados sobre el cuero cabelludo que registran la actividad eléctrica de la corteza cerebral Maureira. (2017). La señal del EEG entrega cinco tipos de ondas: a) delta (1-3 Hz) asociadas al sueño profundo; b) theta (3,5-7 Hz) relacionada con el sueño ligero; c) alfa (8-12 Hz) presente en sujetos despiertos, relajados y con los ojos cerrados; d) beta (13-30 Hz) presente durante la vigilia, durante la percepción de estímulos y resolución de tareas cognitivas; e) gamma (>30 Hz) asociadas a estados de alta concentración y meditación Maureira y Flores. (2016).

En los últimos años las señales del EEG han comenzado a analizarse con herramientas de matemática de sistemas dinámicos o matemática del caos Pikovsky, Rosenblum y Kurths. (2001). Dentro de estas herramientas, el exponente de Hurst (H) sirve para estudiar series temporales altamente dependientes de las condiciones iniciales del fenómeno Díaz, Maureira y Córdova. (2017). El exponente H varía entre 0 y 1, para $H=0,5$ la serie de tiempo presenta un tipo de caos estadístico conocido como ruido café; para valores de $H<0,5$ la serie de tiempo es antipersistente, es decir, cada valor sucesivo de la serie tendrá una tendencia opuesta al valor anterior, por lo que se dice que estos procesos poseen memoria de corto plazo; valores $H>0,5$ la serie de tiempo es persistente, es decir, cada valor sucesivo de la serie tiende a seguir la misma tendencia precedente, por lo que se dice que estos procesos poseen memoria de largo plazo Díaz, et al. (2015).

En este contexto, un estudio de Flores, et al. (2019) evaluó la actividad neurofisiológica de ondas beta a 14 voluntarios durante la resolución de una prueba de atención selectiva, mostrando valores $H<0,300$ con una actividad antipersistente, sin diferencias entre la región prefrontal derecha e izquierda. Cuatro sujetos presentaron diferencias en la corteza temporal (dos con valores H mayores en la región izquierda y dos en la región derecha) y dos sujetos muestran diferencias en la corteza occipital. Un estudio de Maureira, et al. (2020) evaluó la actividad de la onda gamma de 12 voluntarios durante la resolución de la prueba de Toulouse-Piéron de atención selectiva, revelando valores H entre 0,193 y 0,278 en los electrodos prefrontales, temporales y occipitales. Ocho sujetos no presentaron correlaciones de las oscilaciones del exponente H cada segundo, entre pares de electrodos durante la prueba, un sujeto presentó correlaciones en el hemisferio derecho y tres presentaron un alto número de correlaciones entre los seis electrodos analizados. Otro estudio de Maureira, et al. (en prensa) aplicó la prueba de símbolos y dígitos para la atención alternante y la prueba de Stroop para la inhibición de la interferencia a 14 voluntarios. Durante la ejecución de las pruebas se registraron las ondas gamma de la actividad cerebral, mostrando valores $H<0,5$ en todos los casos. La resolución de la prueba atencional reveló un mayor caos de la actividad eléctrica cerebral, en comparación con la condición basal, sin existir correlaciones de las oscilaciones de H entre las regiones estudiadas. En el caso de la prueba de inhibición, las modificaciones de H no presentaron patrones definidos hacia el orden o caos.

Debido a los antecedentes mencionados es que surge el objetivo de la presente investigación: estudiar el comportamiento no-lineal de la oscilación beta (13-30 Hz), evaluado a través del balance caos/orden cerebral (exponente de Hurst), durante la ejecución de una prueba de atención sostenida en estudiantes universitarios.

Método

Muestra: Es de tipo no probabilística voluntaria, constituida por 13 varones estudiantes de la carrera de pedagogía en educación física de una universidad privada de Santiago de Chile. La edad media de los evaluados fue de $19,8 \pm 1,3$ años. Ninguno de los evaluados poseía alteraciones o trastornos cognitivos, no estaban en tratamiento psicológico durante los últimos 12 meses, ni eran consumidores habituales de drogas. Durante el presente estudio se respetaron los principios éticos para las investigaciones médicas con seres humanos de la Declaración de Helsinki World medical Association. (2013). Todos los integrantes de la muestra firmaron un consentimiento informado para participar en el estudio.

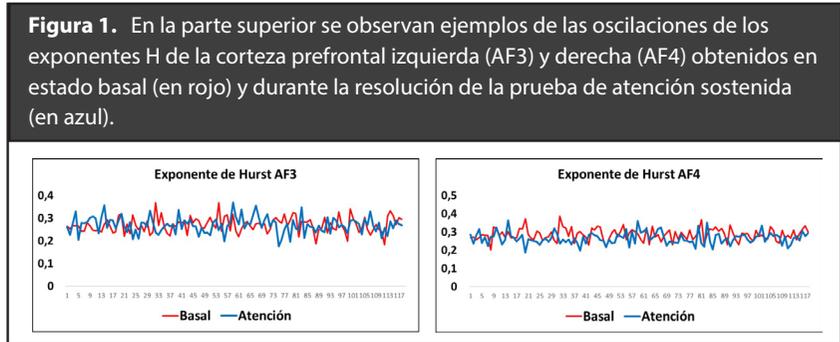
Instrumentos: Para el registro EEG se utilizó el dispositivo cerebro-interfaz Emotiv Epoc® Research Edition con frecuencia de muestreo de 128 Hz. El EEG registra 14 canales a través de electrodos posicionados según el sistema 10/20 usando como referencia los electrodos del hueso mastoides. Los datos del EEG fueron procesados con el programa EEGLAB y ADJUST ejecutados en la plataforma MATLAB 2008. Se utilizaron los registros del lóbulo frontal (AF3 y AF4), temporal (T7 y T8) y occipital (O1 y O2). Se analizó el rango de frecuencia de 13 a 30 Hz (onda beta) durante cuatro períodos de tiempo (T1=0:01-2:00 min.; T2=2:01-4:00 min.; T3=4:01-6:00 min.; T4=6:01-8:00 min.).

Para la evaluación de la atención sostenida se utilizó la prueba de Toulouse-Piéron, considerada como una de las técnicas más relevantes para evaluar la atención León-Carrión. (1995). La prueba consta de una matriz de 1200 signos, distribuidos en 40 filas x 30 columnas. La prueba presenta dos figuras modelos en la parte superior de la hoja y la finalidad es encontrar las figuras que presentan las mismas características. El puntaje final corresponde al Índice Global de Atención y Percepción (IGAP) que se obtiene cuando al total de aciertos (A) se le resta la suma de errores (E) y omisiones (O). La aplicación de la prueba se realizó en forma individual, con una duración de ocho minutos, solicitando a los participantes dejar una marca cada dos minutos, de manera de poder analizar la evolución en la ejecución de la prueba.

Procedimiento: se registró la frecuencia cardíaca basal de cada participante durante cinco minutos sentado relajadamente en una silla. Posterior a ello, se realizó un registro basal de la actividad cerebral con dos minutos con los ojos cerrados y se analizó el rango de frecuencia beta (13-30 Hz). Una semana antes de la evaluación se les entregó a cada participante indicaciones sobre consumo de alcohol y horas de sueño para el día previo a la medición. Para el registro y análisis de datos del electroencefalograma se utilizó el programa Matlab con la herramienta EEGLAB. Posteriormente, se procedió a calcular el exponente de Hurst para cada segundo de registro del estado basal con los ojos cerrados, lo que entregó 120 valores H (1 por cada segundo) y se obtuvo el promedio de éstos (μ -Hurst). Esta acción se realizó para cada uno de los seis electrodos estudiados.

Tras el registro basal, todos sujetos realizaron la prueba de atención sostenida. De igual manera que anteriormente, se procedió a calcular el exponente de Hurst para cada segundo de la prueba (480 valores H) y se obtuvo el μ -Hurst cada dos minutos (T1=0:01-2:00 min.; T2=2:01-4:00 min.; T3=4:01-6:00 min.; T4=6:01-8:00 min.). Esta acción se realizó para cada uno de los seis electrodos estudiados.

Una vez calculados los exponentes de Hurst en estado basal y durante la resolución de la prueba (Fig. 1), se procedió a restar los primeros valores H a los obtenidos durante la tarea cognitiva ($\Delta \mu\text{-Hurst}$) de manera de obtener la modificación de los exponentes de Hurst atribuibles a dicha actividad cognitiva Jia y Kohn. (2011).



Análisis de datos: una vez determinadas las medias de los índices H se utilizó el programa estadístico SPSS 25.0 para Windows. La prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS) entregó una distribución normal para los datos analizados ($p < 0,05$) razón por la cual se procedió a utilizar estadística paramétrica Maureira. (2017). Se utilizaron pruebas t para muestras independientes para comparar las medias de los valores H entre cada electrodo del hemisferio derecho e izquierdo (AF3 vs AF4; T7 vs T8; O1 vs O2) cada dos minutos y entre la media de los valores H entre hemisferio derecho e izquierdo (AF3-T7-O1 vs AF4-T8-O2) cada dos minutos. También se utilizaron pruebas de ANOVA de medidas repetidas con post-hoc de Bonferroni para comparar los valores H de cada electrodo entre los cuatro períodos de tiempo y para relacionar los exponentes H entre los seis electrodos estudiados se utilizaron correlaciones Pearson cada dos minutos. Se consideraron significativos valores $p < 0,05$.

Resultados

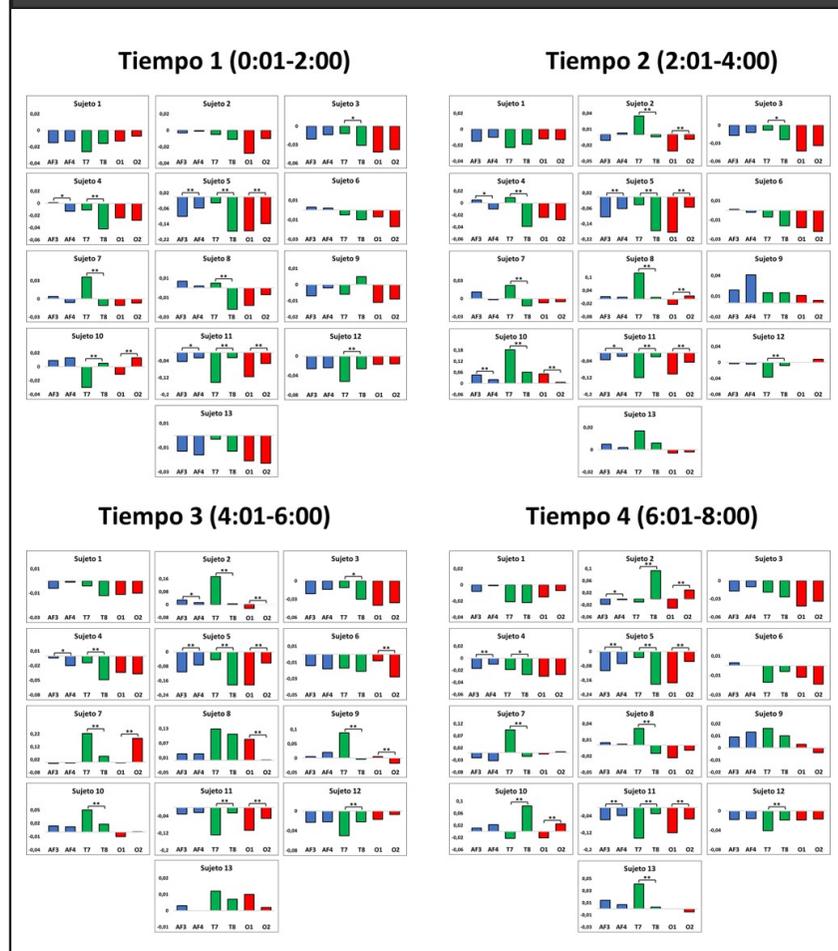
En la figura 2 se observan los $\Delta \mu\text{-Hurst}$ de la onda beta durante los dos primeros minutos de la prueba de atención selectiva. Se comparan los valores de la región prefrontal izquierda (AF3) y derecha (AF4), de la temporal izquierda (T7) y derecha (T8) y de la occipital izquierda (O1) y derecha (O2), los sujetos 4, 5 y 11 poseen asimetrías en la región prefrontal, y dos de ellos poseen una mayor tendencia al caos en la región izquierda durante la resolución de la prueba. Ocho de los 13 sujetos poseen asimetrías en los exponentes H de la región temporal, cinco presentan mayor tendencia al caos en la región derecha y tres en la región izquierda. Los sujetos 5, 10 y 11 poseen asimetrías en los exponentes H de la región occipital, y todos ellos poseen una mayor tendencia al caos en la región izquierda.

En la figura 2 también se observan los $\Delta \mu\text{-Hurst}$ de la onda beta desde 2:01 hasta 4:00 minutos de la prueba de atención selectiva. Cuatro sujetos presentan asimetrías en los exponentes H de la región prefrontal (a los sujetos 4, 5 y 11 se suma el sujeto 10), dos presentan mayor tendencia al caos en la región izquierda y dos en la región derecha. Nueve sujetos poseen asimetrías en los exponentes H de la región temporal, siete presentan mayor tendencia al caos en la región derecha y dos en la región izquierda. Cinco sujetos poseen asimetrías en los exponentes H de la región occipital (a los sujetos 5, 10 y 11 se suman los sujetos 2 y 8), cuatro presentan mayor tendencia al caos en la región izquierda y uno en la región derecha.

Los Δ mu-Hurst de la onda beta desde 4:01 hasta 6:00 minutos de la prueba de atención selectiva. Tres sujetos presentan asimetrías en los exponentes H de la región prefrontal (sujetos 2, 4 y 5), dos presentan mayor tendencia al caos en la región derecha y uno en la región izquierda. Nueve sujetos poseen asimetrías en los exponentes H de la región temporal, siete presentan mayor tendencia al caos en la región derecha y dos en la región izquierda. Siete sujetos poseen asimetrías en los exponentes H de la región occipital, cuatro presentan mayor tendencia al caos en la región izquierda y tres en la región derecha.

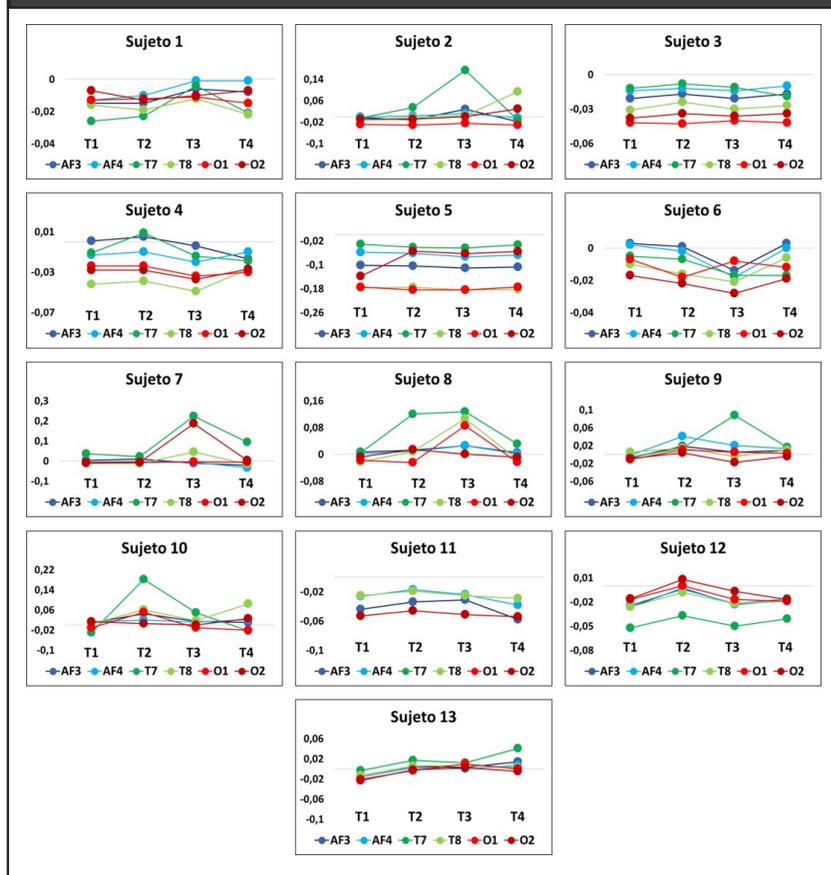
Los Δ mu-Hurst de la onda beta desde 6:01 hasta 8:00 minutos de la prueba de atención selectiva. Cuatro sujetos presentan asimetrías en los exponentes H de la región prefrontal (sujetos 2, 4, 5 y 11), todos presentan mayor tendencia al caos en la región izquierda. Nueve sujetos poseen asimetrías en los exponentes H de la región temporal, cinco presentan mayor tendencia al caos en la región derecha y cuatro en la región izquierda. Cuatro sujetos poseen asimetrías en los exponentes H de la región occipital, todos presentan mayor tendencia al caos en la región izquierda.

Figura 2. Diferencias de las medias de exponentes de Hurst de los estados de atención menos los basales (Δ mu-Hurst) de la onda beta durante los ocho minutos de la prueba. En azul la región prefrontal, en verde la región temporal y en rojo la región occipital.



Al comparar los Δ mu-Hurst de la onda beta de los tres electrodos del hemisferio izquierdo (AF3-T7-O1) versus los tres electrodos del hemisferio derecho (AF4-T8-O2) se observan diferencias en seis sujetos del total (46,2%), de ellos tres presentan una mayor tendencia al caos en el hemisferio izquierdo (sujeto 10: $t=-5,178$; $p=0,000$; sujeto 11: $t=-12,090$; $p=0,000$; sujeto 12: $t=-2,219$; $p=0,034$) y tres en el hemisferio derecho (sujeto 4: $t=3,862$; $p=0,000$; sujeto 5: $t=2,915$; $p=0,004$; sujeto 7: $t=4,132$; $p=0,000$).

Figura 3. Diferencias de las medias de exponentes de Hurst de los estados de atención menos los basales (Δ mu-Hurst) de la onda beta en los cuatro períodos de tiempo de la prueba.



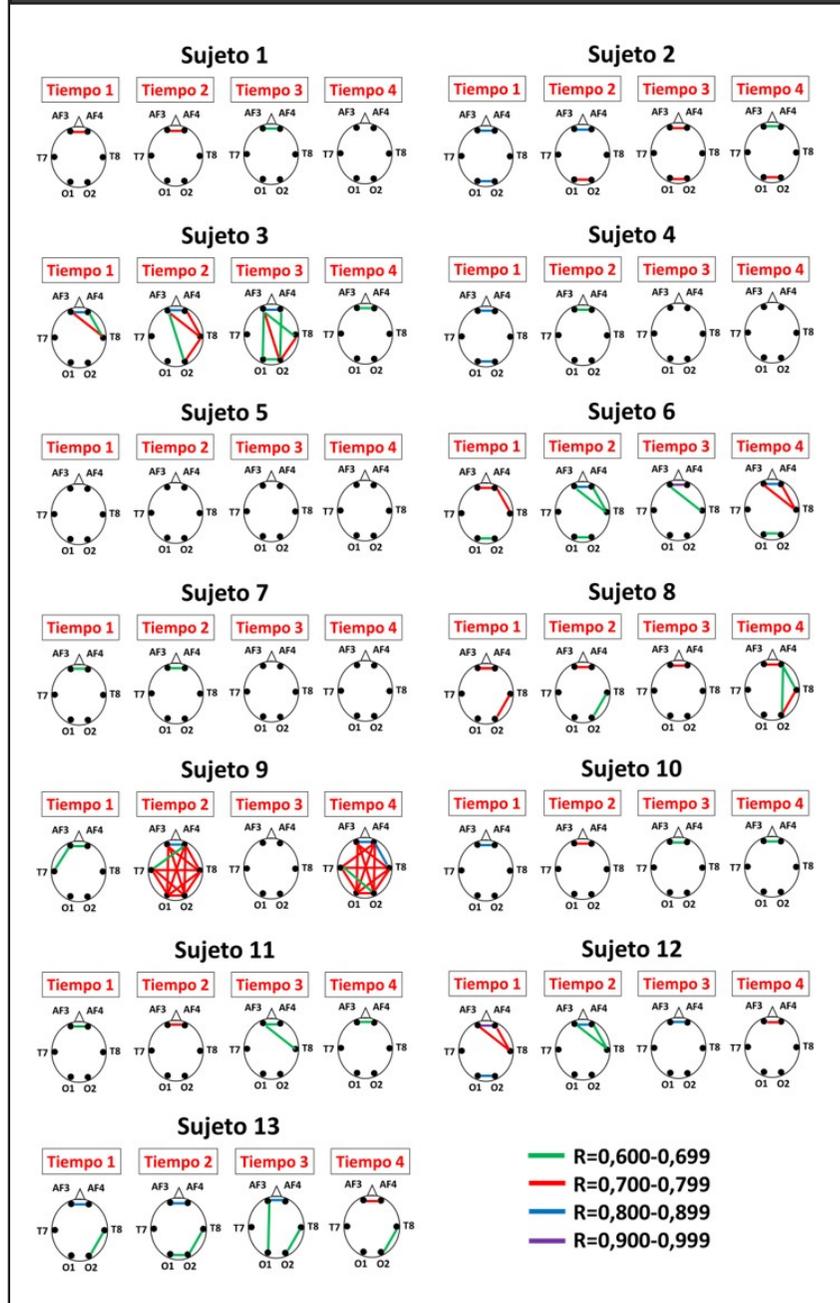
En la figura 3 se muestra la evolución de los valores de los Δ mu-Hurst cada dos minutos para cada electrodo de cada sujeto evaluado. En la tabla 1 se aprecia que sólo el sujeto tres no presenta variaciones en ningún electrodo en los cuatro períodos de tiempo. Nueve estudiantes del total (69,2%) presentan variaciones en la región prefrontal, nueve estudiantes del total (69,2%) presentan variaciones en la región temporal y ocho estudiantes del total (61,5%) presentan variaciones en la región occipital.

Tabla 1. ANOVA de medidas repetidas y pruebas de Bonferroni comparando los Δ mu-Hurst de cada electrodo en los cuatro periodos de tiempo.

Sujeto		T1	T2	T3	T4	p	Bon
1	T7	-0,026±0,050	-0,020±0,053	0,001±0,058	-0,018±0,060	0,001**	T3>T
2	AF3	-0,008±0,051	-0,011±0,053	0,029±0,054	-0,018±0,053	0,000**	T3>T
	AF4	-0,005±0,053	0,003±0,053	0,012±0,053	-0,003±0,050	0,016*	T3>
	T7	-0,008±0,050	0,035±0,051	0,173±0,076	-0,011±0,046	0,000**	T3>T:
	T8	-0,013±0,052	-0,004±0,061	0,004±0,056	0,093±0,065	0,000**	T4>
	O2	-0,013±0,068	-0,009±0,059	0,000±0,061	0,029±0,067	0,000**	T4>T
4	T7	-0,011±0,051	0,010±0,052	-0,012±0,048	-0,022±0,054	0,000**	T2>T
5	O2	-0,138±0,079	-0,052±0,058	-0,058±0,065	-0,056±0,059	0,000**	T2-T:
6	AF3	0,003±0,051	0,002±0,060	-0,015±0,058	0,002±0,056	0,002**	T1-T:
	AF4	0,002±0,053	-0,000±0,059	-0,018±0,058	-0,002±0,055	0,001**	T1-T:
7	AF3	0,004±0,054	0,011±0,060	-0,010±0,060	-0,023±0,058	0,000**	T1-T:
	AF4	-0,006±0,053	-0,002±0,055	-0,007±0,059	-0,035±0,050	0,000**	T1-T:
	T7	0,036±0,057	0,022±0,054	0,223±0,084	0,096±0,072	0,000**	T3>T:
	T8	-0,011±0,048	-0,012±0,053	0,047±0,064	-0,015±0,049	0,000**	T3>T
	O2	-0,007±0,043	-0,005±0,050	0,185±0,130	0,007±0,046	0,000**	T3>T
8	AF3	0,007±0,053	0,010±0,051	0,026±0,057	0,007±0,058	0,002**	T3>
	AF4	0,002±0,054	0,006±0,052	0,025±0,055	0,003±0,058	0,000**	T3>T
	T7	0,005±0,041	0,121±0,086	0,128±0,080	0,032±0,060	0,000**	T2-T3
	T8	-0,022±0,055	0,011±0,063	0,114±0,074	-0,010±0,059	0,000**	T3>T:
	O1	-0,018±0,051	-0,020±0,057	0,087±0,067	-0,022±0,056	0,000**	T3>T
	O2	-0,007±0,056	0,015±0,063	0,003±0,056	-0,004±0,056	0,003**	T2>
9	AF4	-0,002±0,061	0,023±0,054	0,022±0,048	-0,002±0,051	0,000**	T2-T:
	T7	-0,006±0,059	0,001±0,050	0,093±0,058	0,004±0,051	0,000**	T3>T
	O1	-0,012±0,063	-0,006±0,052	0,009±0,051	-0,012±0,047	0,000**	T3>T
10	AF3	0,006±0,045	0,044±0,060	0,014±0,055	0,010±0,052	0,000**	T2>T
	T7	-0,033±0,054	0,183±0,073	0,049±0,065	-0,023±0,050	0,000**	T2>T:
	T8	0,005±0,048	0,062±0,049	0,016±0,047	0,083±0,055	0,000**	T4>T:
	O1	-0,012±0,044	0,049±0,060	-0,011±0,050	-0,021±0,048	0,000**	T2>T
	O2	0,012±0,047	0,005±0,050	0,001±0,044	0,025±0,054	0,001**	T4>
11	AF3	-0,044±0,054	-0,034±0,063	-0,028±0,052	-0,058±0,058	0,000**	T2-
	AF4	-0,026±0,057	-0,016±0,061	-0,022±0,055	-0,038±0,053	0,000**	T2-
	T7	-0,143±0,071	-0,121±0,073	-0,129±0,074	-0,149±0,073	0,000**	T2-
12	AF3	-0,026±0,059	-0,003±0,058	-0,021±0,048	-0,017±0,055	0,004**	T2>T
	AF4	-0,024±0,057	-0,004±0,058	-0,021±0,054	-0,017±0,055	0,006**	T2>
	O1	-0,017±0,050	-0,001±0,052	-0,016±0,053	-0,017±0,049	0,004**	T2>
	O2	-0,016±0,050	0,008±0,048	-0,007±0,042	-0,015±0,048	0,000**	T2>T
13	AF3	-0,013±0,047	0,005±0,046	0,005±0,043	0,013±0,049	0,001**	T2-T:
	AF4	-0,016±0,047	0,003±0,045	0,002±0,046	0,007±0,047	0,006**	T2-T:
	T7	-0,003±0,044	0,018±0,045	0,013±0,042	0,040±0,051	0,000**	T4>T:
	T8	-0,013±0,045	0,007±0,042	0,008±0,043	0,003±0,047	0,009**	T2-
	O1	-0,021±0,045	-0,004±0,045	0,010±0,041	-0,001±0,042	0,000**	T3>
	O2	-0,023±0,042	-0,002±0,050	0,002±0,046	-0,007±0,048	0,001**	T3>

En la figura 4 se muestra la evolución del número de correlaciones de los Δ mu-Hurst cada dos minutos para cada electrodo de cada sujeto evaluado. Sólo el sujeto 9 presenta diferencias significativas entre el tiempo 1 y 2 ($Z=7,35$) y entre el tiempo 3 y 4 ($Z=14,45$). El resto poseen un número de correlaciones similares entre los cuatro periodos de tiempo.

Figura 4. Número de correlaciones con $r > 0,6$ de la oscilación de los Δ mu-Hurst de la onda beta cada un segundo en los cuatro periodos de tiempo de la prueba de atención sostenida.



Discusión y conclusión

El objetivo de la presente investigación fue estudiar el comportamiento no-lineal de la oscilación beta (13-30 Hz), evaluado a través del balance caos/orden cerebral (exponente de Hurst), durante la ejecución de una prueba de atención sostenida en estudiantes universitarios. Los Δ mu-Hurst del estado de atención y basales tiende a ser negativa, es decir, los exponentes H tienden a disminuir en casi todos los sujetos y en

casi todas las regiones estudiadas (prefrontal, temporal y occipital). Esto es indicativo de una mayor tendencia al caos en la actividad eléctrica cerebral durante la resolución de la prueba de atención, lo cual entregaría más grados de libertad al sistema, permitiendo una mayor flexibilidad a la hora de procesar una respuesta frente a un problema atencional.

Los Δ mu-Hurst durante los dos primeros minutos presentan asimetrías derecha-izquierda de la corteza prefrontal y occipital sólo en tres sujetos (23,1%) sin diferencias significativas en el resto lo que indica una participación similar de ambas regiones hemisféricas durante la resolución de la tarea atencional, sin embargo, la región temporal presenta diferencias en ocho de los estudiantes (61,5%) con una tendencia más caótica en la zona derecha en la mayoría de ellos. Esto podría explicarse debido a que región temporal derecha se relaciona con el reconocimiento de tonos y de contenido (memoria visual de contenido) fundamental en pruebas de atención sostenida Boni, et al. (2007), por lo tanto, una actividad más caótica en esta región permitiría un trabajo más flexible en la resolución de estas pruebas Díaz, Maureira y Córdova. (2017). Por su parte, el otro 38,5% de la muestra revela valores similares de relación orden/caos en ambos hemisferios temporales.

Durante los siguientes minutos el número de sujetos con asimetrías derecha-izquierda se mantienen similares oscilando entre tres y cuatro en la corteza prefrontal, y entre ocho y nueve en la corteza temporal. La corteza occipital es la que presenta mayor variación en el número de sujetos con diferencias significativas en los Δ mu-Hurst derecho e izquierdo, oscilando entre tres y siete. En la región prefrontal se observa una distribución equitativa de la tendencia al caos en la región derecha e izquierda, en la región temporal mayoría continua con Δ mu-Hurst menores en la región derecha y en la región occipital, la mayoría presenta mayor tendencia al caos en la región izquierda, lo que podría explicarse ya que la información de la retina del ojo derecho llega a la corteza visual primaria izquierda, con una mayor tendencia al caos, lo que tal vez permita un mejor procesamiento de información durante la búsqueda visual en la prueba de atención.

Con respecto a la tendencia al caos del hemisferio izquierdo vs derecho el 46,2% presentan diferencias significativas de los Δ mu-Hurst. Si bien la actividad de los dos hemisferios cerebral es complementaria, existe una especialización sutil de un hemisferio sobre el otro en funciones cognitivas específicas Cantú, Lera y Baca. (2017). En la muestra existe igual distribución de la mayor tendencia al caos en el hemisferio izquierdo y derecho (pese a que todos los sujetos son diestros) y si bien la región derecha se asocia con la orientación de la atención a ambos hemicampos visuales y el hemisferio izquierdo se orienta al hemicampo visual derecho Hübner, Volberg y Studer. (2007), esto no parece un factor determinante en la necesidad de ordenar la actividad cerebral para resolver una prueba atencional, además hay que recordar que más de la mitad de la muestra no presentó una diferencia importante entre ambos hemisferios.

Al comparar los Δ mu-Hurst de cada electrodo en los cuatro períodos de tiempo existen modificaciones en la corteza prefrontal, temporal y occipital en más del 60% de la muestra. En la región prefrontal existen tendencias al caos en forma aleatorias en cuanto a los períodos de tiempo, con sujetos que tienden a ordenar su actividad cerebral en el tiempo 1 y 2 (cuatro primeros minutos), otros en el tiempo 3 (4:01 a 6:00 min.), otros en los tiempos 3 y 4 (cuatro últimos minutos), etc., sin encontrar un patrón de actividad caótica asociada a tiempos determinados de la prueba. En la corteza temporal y occipital se observa una mayor tendencia al caos en los tiempos 1 y 4 (primeros dos y últimos dos minutos de la prueba) que podría deberse al inicio de enfrentar una prueba atencional ya que la región temporal se asocia a tareas visuales

complejas y la corteza occipital con el procesamiento visual Maureira. (2018) y los minutos previos a la finalización de esta, de manera que en los dos períodos intermedios podría caerse en un valle, donde la monotonía de la prueba podría incidir en un aumento del orden de la actividad cerebral.

Finalmente, la evolución del número de correlaciones no presenta variaciones en la mayoría de los sujetos evaluados, siendo bajo el número de asociación entre diversas regiones. Esto es indicativo de una actividad desasociada de estas seis regiones del cerebro, con un trabajo especializado donde las tareas mentales producen desincronización cerebral para asignar recursos a procesamiento más específicos para resolver el problema Díaz, Maureira, Córdova y Palominos. (2017).

Este trabajo aborda la interpretación de una señal de EEG como una serie de tiempo que describe o caracteriza un fenómeno histórico. Su novedad radica en el análisis de dicho fenómeno como dependiente de sí mismo, de su condición inicial, del lugar y el modo de dónde proviene recientemente. Estos fenómenos no-lineales, no responden a la idea de magnitud, de la misma manera que uno lineal. A diferencia de un promedio, que describe el valor de tendencia central que caracteriza a una variable, H describe la tendencia de una ruta, de un camino que, en una condición experimental, o en cualquier condición, conduce y/o diferencia, entre un estado A y un estado B, o una secuencia de estados sucesivos.

En comparación con el uso tradicional de promedios lineales, el exponente de Hurst posee un gran poder para extraer información relevante contenida en el EEG, debido a su relación directa con aspectos termodinámicos y energéticos del funcionamiento cerebral y por el espacio conceptual que se abre para complementar las descripciones lineales y no-lineales del cerebro. Estos análisis también permiten inferir la estructura organizativa multi-oscilatoria que subyace a la generación de los fenómenos emergentes del cerebro, lo que puede ayudar a mejorar el entendimiento de la conducta, y a caracterizar la psico-física individual y grupal de los seres humanos.

Son necesarias más investigaciones de la actividad eléctrica cerebral durante la realización de pruebas cognitivas de atención, memoria de trabajo, inhibición emocional, flexibilidad mental, etc. para indagar sobre la relación orden/caos y ayudar en la comprensión de los fenómenos eléctricos que subyacen a estos procesamientos cerebrales. También sería importante ampliar el rango etario de la muestra e incluir mujeres, ya que la actividad neurofisiológica difiere en relación con estas variables Portnova y Atanov. (2016).

Declaración de conflictos de interés

Los autores declaran que en este estudio no existen conflictos de interés relevantes.

Fuentes de financiamiento

No existió una fuente de financiamiento particular para este informe científico.

Referencias

- Bear, M.; Connors, B.; Paradiso, M. (2016). *Neurociencia, la exploración del cerebro*. 4º ed. Madrid, Wolters Kluwer.
- Boni, R.; Prosdócimi, F.; Bonsi, A.; Almeida, T.; Ribeiro, L. (2007). Asymmetries of the left and right temporal lobes. *Int. J. Morphol*, 25(1), pp.117-120. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022007000100016>
- Cantú, D.; Lera, J.; Baca, J. (2017). Especialización hemisférica y estudios sobre lateralidad. *Revista de Psicología y Ciencias del Comportamiento de la Unidad Académica de Ciencias Jurídicas y Sociales*, 8(2): pp.6-50. <https://doi.org/10.29365/rpcc.20171229-58>
- Díaz, H.; Maureira, F.; Cohen, E.; Córdova, F.; Palominos, F.; Otárola, J.; Cañete, L. (2015). Individual differences in the orden/chaos balance of the brain self-organization. *Annals of Data Science*, 2(4): pp.421-438. <https://doi.org/10.1007/s40745-015-0051-y>
- Díaz, H.; Maureira, F.; Córdova, F.; Palominos, F. (2017). Long-range linear correlation and nonlinear chaos estimation differentially characterizes functional conectivity and organization of the brain EEG. *Procedia Computer Science*, 122: pp.857-864. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.447>
- Díaz, H.; Maureira, F.; Córdova, F. (2017). Temporal scaling and inter-individual hemispheric asymmetry of chaos estimation from EEG time series. *Procedia Computer Science*, 122: pp.339-345. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.378>
- Estévez, A.; García, C.; Junque, C. (1997). La atención: una compleja función cerebral. *Revista de Neurología*, 25: pp.1989-1997. <https://doi.org/10.33588/rn.25148.97483>
- Fernández, A. (2015). Neuropsicología de la Atención. Conceptos, alteraciones y evaluación. *Revista Argentina de Neuropsicología*, 25: pp.1-28.
- Fernández-Duque, D.; Posner, M. (2001). Brain imaging of attentional networks in normal and pathological states. *Journal of Experimental and Clinical Neuropsychology*, 23: pp.74-93. <https://doi.org/10.1076/j.cen.23.1.74.1217>
- Flores, F.; Maureira, F.; Díaz, H.; Navarro, B.; Gavotto, O.; Matheu, A. (2019). Efectos de una sesión de ejercicio físico sobre la actividad neurofisiológica durante la resolución de una prueba de atención selectiva. *Retos*, 36: pp.390-396. <https://doi.org/10.47197/retos.v38i38.74648>
- García, J. (1997). *Psicología de la atención*. Madrid: Síntesis Psicología.
- Hübner, R.; Volberg, G.; Studer, T. (2007). Hemispheric differences for global/local processing in divided attention tasks: Further evidence for the integration theory. *Perception & Psychophysics*, 69: pp.413-421. <https://doi.org/10.3758/BF03193762>
- Jia, X.; Kohn, A. (2011). Gamma rhythms in the brain. *Plos Biology*, 9(4): e1001045. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001045>
- León-Carrión J. (1995). *Manual de neuropsicología humana*. Madrid: siglo XXI.
- Maureira, F.; Díaz, H.; Hadweh, M.; Bravo, P.; Flores, E. (En prensa). Análisis no-lineal de la onda gamma del EEG en una prueba de atención e inhibición. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*.
- Maureira, F.; Díaz, H.; Flores, E.; Gavotto, O.; Hadweh, M. (2020). Variaciones de las dinámicas no lineales de las ondas gamma durante la resolución de una prueba de atención tras la aplicación de ejercicio físico. *Retos*, 37: pp.320-325. <https://doi.org/10.47197/retos.v37i37.73032>
- Maureira, F.; Flores, E. (2016). *Neuropsicobiología para estudiantes de educación*. Valencia: Obrapropia.
- Maureira, F. (2017). *¿Qué es la inteligencia?* Madrid: Bubok Publishing.
- Maureira, F. (2017). *Estadística para educación física*. 2º ed. Madrid: Bubok Publishing.
- Maureira, F. (2018). *Principios de neuroeducación física*. 2º ed. Madrid: Bubok Publishing.
- Mirsky, A.; Duncan, C. (2001). A nosology of disorders of attention. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 931: pp.17-32. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2001.tb05771.x>

- Pikovsky, A.; Rosenblum, M.; Kurths J. (2001). Synchronization: a universal concept in nonlinear sciences. Cambridge: Cambridge University Press.
- Portnova, G.; Atanov, M. (2016). Age-dependent changes of the EEG data: comparative study of correlation dimension D2, spectral analysis, peak alpha frequency and stability of rhythms. *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology*, 4(2): pp.5661.
- Posner, M.; Petersen, S. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13: pp.25-42. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.13.030190.000325>
- World Medical Association. (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. *JAMA*, 310(20): pp.2191-2194. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>