

Análisis no-lineal de la onda gamma del EEG en una prueba de atención e inhibición



Revista EIA
ISSN 1794-1237
e-ISSN 2463-0950
Año XIX/ Volumen 20/ Edición N.40
Julio - diciembre de 2023
Reia4007 pp. 1-16

Publicación científica semestral
Universidad EIA, Envigado, Colombia

PARA CITAR ESTE ARTÍCULO / TO REFERENCE THIS ARTICLE /

Maureira-Cid, F.; Díaz-Muñoz, H.;
Hadweh-Briceño, M.

Análisis no-lineal de la onda gamma del EEG en una prueba de atención e inhibición

Revista EIA, 20(40), Reia4007.
pp. 1-16.

<https://doi.org/10.24050/reia.v20i40.1670>

✉ Autor de correspondencia:

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

Recibido: 26-12-2022

Aceptado: 15-05-2023

Disponible online: 01-06-2023

✉ FERNANDO MAUREIRA-CID¹

HERNÁN DÍAZ-MUÑOZ²

MARCELO HADWEH-BRICEÑO³

1. Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación - Santiago de Chile
2. Universidad de Santiago de Chile
3. Universidad SEK de Chile

Resumen

Introducción: en las últimas décadas se ha estudiado la señal del EEG desde una perspectiva de matemática no-lineal, permitiendo entender la actividad eléctrica cerebral como un sistema dinámico complejo. **Objetivo:** analizar los exponentes de Hurst y las correlaciones de dichos exponentes en la onda gamma durante la resolución de una tarea de atención alternante e inhibición de la interferencia en estudiantes universitarios. **Métodos:** la muestra estuvo constituida por 14 varones estudiantes de educación física. Para evaluar la actividad eléctrica cerebral se utilizó el dispositivo cerebro-interfaz Emotiv EPOC®, para evaluar la atención alternante se aplicó la prueba de símbolos y dígitos y para la inhibición de la interferencia se utilizó la prueba de palabras y colores de Stroop. **Resultados:** De los siete sujetos que resolvieron la prueba de atención alternante uno presenta mayor tendencia al caos en el hemisferio izquierdo, cuatro revelan una mayor tendencia al caos en el hemisferio derecho y dos no presentan una tendencia definida. De los siete sujetos que resolvieron la prueba de inhibición de la interferencia cinco presentan variaciones de las medias de H entre las tres láminas del Stroop, sobre todo de la región temporal. Las medias de los exponentes H en ambas pruebas fueron inferiores a 0,5. **Conclusiones:** Durante la prueba de atención se observa un mayor caos de la actividad eléctrica cerebral, sin existir correlaciones entre las regiones estudiadas. Durante la prueba de inhibición las modificaciones de H no presentan patrones definidos hacia el orden o caos.

Palabras claves: Electroencefalograma, ondas gamma, atención, inhibición.

Non-linear analysis of the EEG gamma wave in an attention and inhibition test

Abstract

Introduction: In recent decades, the EEG signal has been studied from a non-linear mathematical perspective, allowing the understanding of cerebral electrical activity as a complex dynamic system. **Objective:** analyze the Hurst exponents and correlations of such exponents in the gamma wave during the resolution of an alternating attention and interference inhibition task in university students. **Methods:** The sample consisted of 14 male students of physical education. The brain-interface device Emotiv Epoc® was used to evaluate the electrical activity of the brain, the symbols and digits test was applied to evaluate the alternating attention, and the Stroop words and colors test were used to inhibit interference. **Results:** Of the seven subjects who solved the alternating attention test, one presented a greater tendency to chaos in the left hemisphere, four revealed a greater tendency to chaos in the right hemisphere and two did not present a definite tendency. Of the seven subjects who solved the interference inhibition test, five presented variations in the mean H between the three Stroop plates, especially in the temporal region. The mean of the H exponents in both tests was less than 0,5. **Conclusions:** During the attention test, a greater chaos of brain electrical activity is observed, without correlations between the regions studied. During the inhibition test, H modifications do not present definite patterns towards order or chaos.

Key words: Electroencefalogram, gamma waves, attention, inhibition.

1. Introducción

El electroencefalograma (EEG) es una herramienta que permite registrar la actividad eléctrica del cerebro a través de electrodos ubicados en el cuero cabelludo Maureira et al. (2017). Este registro corresponde a la sumatoria de potenciales postsinápticos inhibitorios y excitatorios de la corteza cerebral Aldana y Buitrago. (2013). La señal de la EEG puede clasificarse en diferentes tipos de ondas: delta con un rango de 0.5-3 Hz, theta de 3.5-7 Hz, alfa de 8-12 Hz, beta de 13-30 Hz y gamma con ondas mayores a 30 Hz Maureira. (2018). Las ondas delta y theta se asocian a estados de sueño profundo y ligero respectivamente, la onda alfa a un estado de reposo, despierto y con los ojos cerrados, beta a un estado de vigilia con percepción del entorno y durante la resolución de tareas cotidianas y las ondas gamma se asocian a estados de alta concentración y meditación Bear, Connors y Paradiso. (2016).

En las últimas décadas se ha comenzado a estudiar las señales del EEG con herramientas de matemática no lineal Pikovsky, Rosenblum y Kurths. (2001), asumiendo la naturaleza caótica y de sistemas dinámicos complejos de la actividad eléctrica cerebral Klonowski. (2016). En este contexto el exponente de Hurst (H) se ha utilizado para estudiar los cambios en series temporales altamente dependientes de las condiciones iniciales del sistema Díaz, Maureira y Córdova. (2017), con valores que oscilan entre 0 y 1, donde $H=0,5$ es indicador de un sistema que oscila bajo una dinámica de caos estocástico, correspondiente a ruido café o movimiento browniano, sin contenido informacional relevante; valores $H<0,5$ indican un sistema antipersistente, donde el comportamiento futuro del sistema será conservador con respecto a los valores precedentes, con una tendencia regresiva al valor promedio que lo antecede; valores $H>0,5$ indican un sistema persistente, donde el comportamiento futuro del sistema seguirá conservando por un tiempo la tendencia precedente alejándose de un valor promedio estable de la oscilación Díaz et al. (2015).

Diversos trabajos han mostrado diferencias en el exponente de Hurst obtenido de señales de EEG en sujetos adultos en estado de reposo con valores más altos de H en las ondas alfa y beta con los ojos cerrados en comparación con ojos abiertos Racz et al. (2018), con valores $H>0,5$ en la onda beta con diferencias inter e intra-hemisférica Díaz et al. (2019) y correlaciones de valores H de electrodos frontales, temporales y occipitales en ondas beta bajas (13-21 Hz) y beta alta (22-30 Hz) en estado de reposo con ojos cerrados, con claras diferencias individuales entre los sujetos de la muestra Díaz et al. (2019) También se ha utilizado el exponente de Hurst para clasificar señales de EEG diferenciando entre sujetos sanos y personas con estrés postraumático Rahmani et al. (2018), entre etapas pre-ictales e inter-ictales en sujetos epilépticos Gupta, Singh y Karlekar. (2018), entre sujetos sanos y con trastornos de sueño Colombo et al. (2016), entre atletas sanos y deportistas post conmoción cerebral Munia et al. (2017).

El exponente de Hurst evalúa el grado de predictibilidad de una serie temporal en términos de i) su persistencia, o el refuerzo de una tendencia observada en la serie de tiempo ($0,5<H<1$); y ii) su anti-persistencia ($0<H<0,5$), indicativo de una serie cuya tendencia futura es estable, o que revierte sobre un determinado valor promedio. Para series de tiempo brownianas ($H=0,5$), se define un caos estocástico, mientras que para valores de H distintos de 0,5 se entiende un caos determinista que se desarrolla sobre una

estructura matemática estadística que es sensible a las condiciones iniciales, característica que define a los sistemas dinámicos caóticos Pikovsky, Rosenblum y Kurths. (2001).

La tendencia al caos de una serie temporal puede evaluarse con otros análisis no-lineales como el exponente máximo de Lyapunov, el cual permite conocer la sensibilidad del sistema a las condiciones iniciales, algo que también se ha expresado como su volatilidad. Esto permite estimar la diferencia entre dos o más sistemas con condiciones iniciales similares, proveyendo una evaluación de su predictibilidad global. El exponente de Hurst y el exponente máximo de Lyapunov se encuentran correlacionados ($R > 0,85$) de modo que se esperarían resultados similares si se ocupase cualquiera de los dos métodos Tarnopolsky. (2018).

Por otra parte, la atención es la capacidad de focalizar selectivamente las percepciones, de esta forma captamos cierta información del entorno y deseamos la demás Maureira. (2018). Esta es una función cognitiva constituida por varios subtipos Portellano. (2005) entre los que destacan el estado de alerta (disposición para captar información del entorno), la atención selectiva (selección de un estímulo en particular), la atención sostenida (capacidad de mantener en el tiempo una respuesta conductual), la atención dividida (focalización de dos o más estímulos a la vez), la atención alternante (capacidad de cambiar con rapidez el foco atencional), etc. Maureira y Flores. (2016).

En el contexto de estudios de atención mediante EEG y exponentes de Hurst destacan algunos trabajos que analizan las señales cerebrales en personas con déficit atencional con hiperactividad, mostrando una disminución de los exponentes H en las ondas theta, alfa y beta tras una terapia de neurofeedback Cerquera et al. (2012), diferencias individuales inter e intra-hemisféricas de la onda beta durante la resolución de pruebas de atención sostenida y atención selectiva con números muy variables de correlaciones entre los exponentes H de diversas regiones cerebrales, las cuales son independientes de los resultados de la prueba Flores et al. (2019), Flores et al. (2020) y diferencias en los valores H de la onda beta (que oscilaron entre $H=0,2$ y $H=0,4$) entre las regiones prefrontales, temporales y occipitales, las cuales variaron en cada sujeto durante los ocho minutos de resolución de una prueba de atención sostenida Maureira, Flores y Díaz. (2020).

En otro ámbito de las funciones cerebrales superiores, existe un conjunto de procesos denominadas funciones ejecutivas, que se asocian a tareas mentales que permiten generar una conducta eficaz Lozano y Ostrosky (2011). Dentro de esta gama de funciones se

encuentra la planificación, la memoria de trabajo, la fluidez verbal, la flexibilidad cognitiva, el control inhibitorio, etc. Ardila y Ostrosky (2008). La inhibición de la interferencia se define como la capacidad de inhibir respuestas automáticas y controlar respuestas frente a estímulos en conflicto, siendo uno de los tres tipos de control inhibitorio Maureira (2018), capacidades fundamentales para garantizar el cumplimiento de objetivos Lozano y Ostrosky (2011).

Algunos estudios describen aumento del número de pares de canales correlacionados y una disminución del exponente H a medida que aumenta la complejidad de una tarea de resolución de problemas Díaz et al. (2017) y aumento del exponente H en la onda delta de la región frontal y occipital a medida que aumenta la dificultad de una tarea de memoria de trabajo Zarjam et al. (2012). Sin embargo, la literatura no presenta trabajos que estudien la actividad cerebral medida con EEG y analizada con matemática no-lineal durante la resolución de tareas de control inhibitorio.

Debido a los antecedentes expuestos, es que surge el objetivo de la presente investigación: analizar los exponentes de Hurst y las correlaciones de dichos exponentes en la onda gamma durante la resolución de una tarea de atención alternante e inhibición de la interferencia en estudiantes universitarios.

2. Método

Muestra: estuvo constituida por 14 estudiantes varones de Pedagogía en Educación Física de una Universidad de Santiago de Chile. La edad media de los evaluados fue de $19,8 \pm 0,6$. Las mediciones sólo se realizaron en varones ya que se ha descrito diferencias importantes en la actividad eléctrica cerebral según el sexo Jausovec y Jausovec (2010) y rangos etarios Portnova y Atanov. (2016), situaciones que acotan las características de la muestra. 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 de la actividad eléctrica cerebral se utilizó el dispositivo cerebro-interfaz Emotiv EPOC® 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).

Para la evaluación de la atención alternante se utilizó la prueba de símbolos y dígitos de Smith. (1973), la cual consta de una planilla que en su parte superior posee un cuadro de claves donde aparecen nueve símbolos asociados a números del uno al nueve. Más abajo aparecen 120 casillas con diversos símbolos, donde el evaluado debe asignarle el número correspondiente según las claves en la parte superior de la hoja. La prueba tiene una duración de 90 segundos.

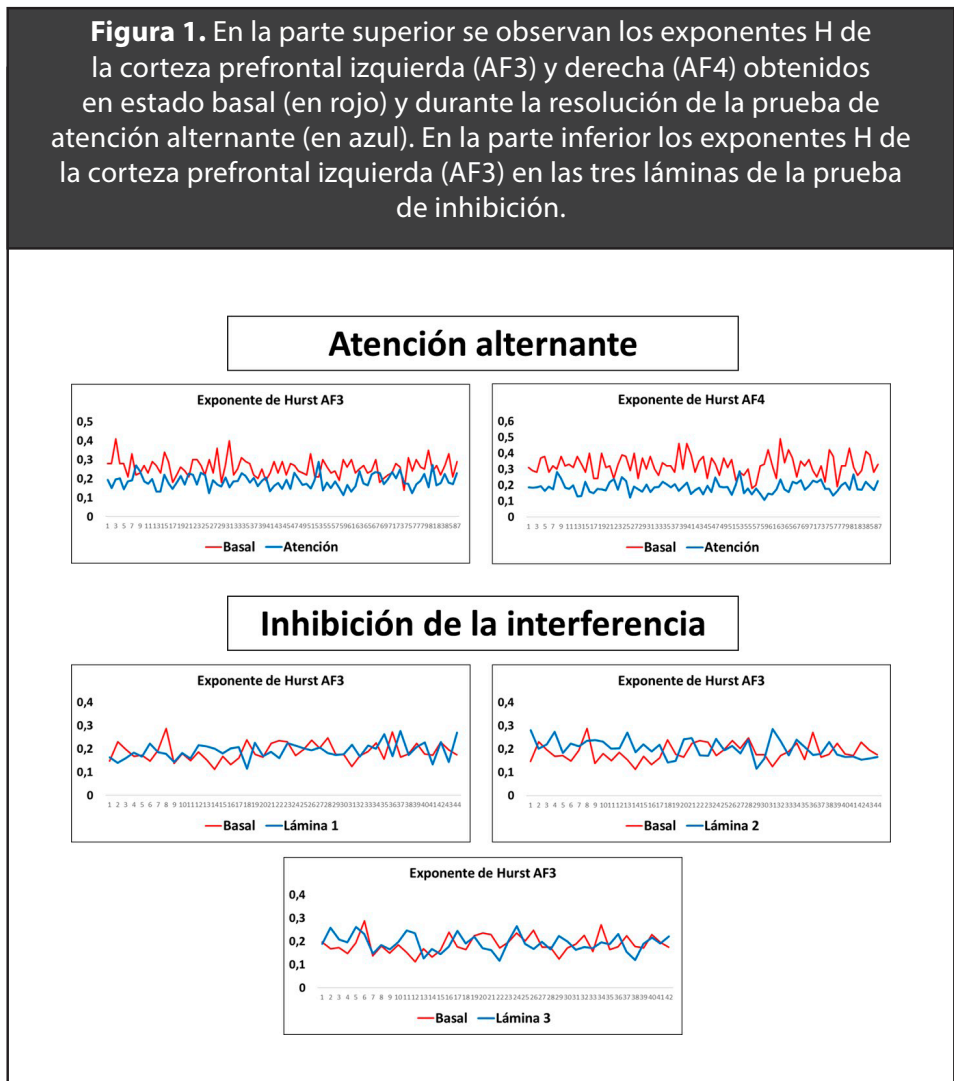
Para la evaluación de la inhibición de la interferencia se utilizó la prueba de Colores y Palabras de Stroop. (1935), la cual consta de tres láminas con 100 elementos cada una, agrupadas en 5 columnas. La primera lámina presenta nombres de colores escritos en tinta negra, la segunda presenta símbolos de colores y la tercera presenta nombres de colores escritos en tinta de distinto color. El evaluado debe leer la mayor cantidad de palabras de la lámina 1 en 45 segundos, luego debe nombrar la mayor cantidad de colores de los símbolos en 45 segundos y finalmente debe nombrar la mayor cantidad de colores de la tinta en que está escrita las palabras de la lámina 3 en 45 segundos.

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 gamma (>30 Hz). Una semana antes de la evaluación se le entregó a cada participante indicaciones sobre consumo de alcohol y horas de sueño para el día previo a la medición. La totalidad de los participantes declararon no consumir drogas de forma habitual.

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 estos. Esta acción se realizó para cada uno de los seis electrodos estudiados.

Tras el registro basal, siete sujetos realizaron la prueba de atención alternante y siete la prueba de inhibición de la interferencia. De igual manera que anteriormente, se procedió a calcular el exponente de Hurst para cada segundo de la prueba (90 valores H para la prueba de atención y 45 valores H para cada una de las tres láminas de la prueba de inhibición) y se obtuvo el promedio de estos. 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 de manera de obtener la modificación de los exponentes de Hurst atribuibles a la dicha actividad cognitiva Maureira y Flores. (2020).



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. Para comparar las medias de los valores H entre cada electrodo del hemisferio derecho e izquierdo se utilizaron pruebas t para muestras independientes, para comparar las medias de H de cada electrodo entre las tres láminas del Stroop se utilizaron pruebas de ANOVA con post-hoc de Tukey y para relacionar los exponentes H entre los seis electrodos estudiados se utilizaron correlaciones Pearson. Se consideraron significativos valores $p < 0.05$.

3. Resultados

En la figura 2 se observan las comparaciones de las medias de valores H durante la resolución de la prueba de atención alternante restando los valores H en estado basal de siete sujetos de la muestra. La mayoría presenta una disminución de las medias de H durante los 90 segundos de la prueba, lo cual indica un aumento del caos de la actividad eléctrica cerebral. Se aprecia que el sujeto 1 posee una mayor tendencia al caos de la actividad eléctrica del hemisferio izquierdo, el sujeto 2 al caos de la actividad eléctrica del hemisferio derecho, el sujeto 3 y 4 no presentan una tendencia definida, el sujeto 5 presenta una mayor tendencia al caos de la actividad eléctrica del hemisferio derecho, el sujeto 6 una mayor tendencia al caos de la actividad eléctrica del hemisferio derecho y el sujeto 7 una mayor tendencia al caos de la actividad eléctrica del hemisferio derecho. La tabla 1 resume las diferencias de medias y tamaños del efecto (d) entre los exponentes H de cada región derecha e izquierda durante la resolución de la prueba de atención alternante.

Los análisis de correlaciones no mostraron relaciones significativas altas ($r > 0,600$) en ninguno de los sujetos durante la resolución de la prueba de atención alternante.

Los resultados en la prueba de atención oscilaron entre 49 y 66 puntos en los siete sujetos evaluados, sin encontrarse una asociación entre resultado obtenido y las medias de los exponentes H durante la resolución del test.

Figura 2. Diferencia de las medias de exponentes H durante la resolución de la prueba de atención alternante.

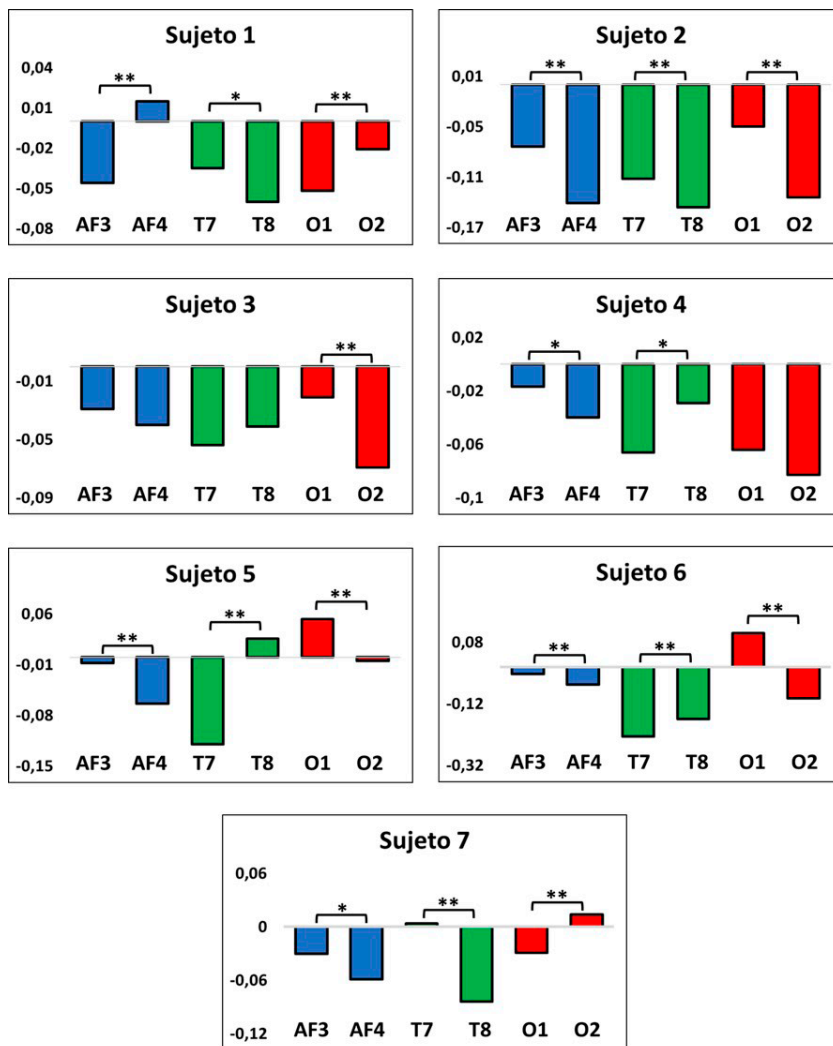


Tabla 1. Pruebas t y tamaños del efecto comparando los exponentes H de las regiones prefrontales, temporales y occipitales entre hemisferios izquierdos y derechos.

Sujeto	Región	Izquierdo	Derecho	t	p	d
N° 1	Prefrontal	-0,052±0,07	0,011±0,07	-5,778	0,000	0,25
	Temporal	-0,420±0,07	-0,670±0,07	2,319	0,002	0,98
	Occipital	-0,052±0,06	-0,021±0,06	-3,315	0,001	0,13
N° 2	Prefrontal	-0,073±0,06	-0,137±0,07	6,292	0,000	0,25
	Temporal	-0,116±0,07	-0,153±0,07	3,626	0,000	0,14
	Occipital	-0,049±0,05	-0,132±0,06	9,839	0,000	0,35
N° 3	Occipital	-0,018±0,05	-0,075±0,07	5,602	0,000	0,23
N° 4	Prefrontal	-0,016±0,05	-0,044±0,07	2,960	0,004	0,11
	Temporal	-0,066±0,06	-0,034±0,08	2,888	0,004	0,12
N° 5	Prefrontal	-0,009±0,06	-0,069±0,08	5,513	0,000	0,23
	Temporal	-0,119±0,09	0,028±0,09	10,360	0,000	0,49
	Occipital	0,053±0,08	-0,003±0,07	5,088	0,000	0,20
N° 6	Prefrontal	-0,022±0,06	-0,059±0,06	3,714	0,000	0,15
	Temporal	-0,227±0,09	-0,171±0,08	-4,141	0,000	0,19
	Occipital	0,110±0,08	-0,103±0,08	17,020	0,000	0,75
N° 7	Prefrontal	-0,038±0,05	-0,065±0,07	2,508	0,013	0,11
	Temporal	-0,008±0,08	-0,082±0,06	6,305	0,000	0,28
	Occipital	-0,036±0,06	0,009±0,06	-4,196	0,000	0,18

En la figura 3 se observan las comparaciones de las medias de valores H durante la resolución de las tres láminas de la prueba de inhibición de la interferencia restando los valores H en estado basal de siete sujetos de la muestra. Se aprecia que cuatro sujetos presentan variaciones de las medias del exponente H en dos electrodos entre las tres láminas de la prueba de Stroop. Se observan variaciones en la región prefrontal derecha (AF4) en el sujeto 8, de la zona temporal izquierda (T7) en el sujeto 11, 13 y 14, de la zona temporal derecha (T8) en el sujeto 8, 11 y 13, en la región occipital izquierda (O1) en el sujeto 12 y en la zona occipital derecha (O2) en el sujeto 14.

La tabla 2 resume las diferencias de medias entre los exponentes H de las regiones prefrontales, temporales y occipitales entre las tres láminas de la prueba de inhibición de la interferencia.

En la figura 4 se muestran los análisis de correlaciones que revelan relaciones significativas altas ($r > 0,600$) en el 85,7% de

los sujetos, con modificaciones entre las tres láminas de la prueba Stroop. El sujeto 8 y 11 presenta correlaciones sólo durante la resolución de la lámina 1. Los sujetos 9 y 10 aumentan el número de correlaciones de los exponentes de Hurst en la lámina 2 y disminuyen hacia la lámina 3, con preferencia del hemisferio derecho. El sujeto 12 sólo presenta una correlación en la región occipital durante la resolución de la lámina 3 y el sujeto 13 aumenta el número de correlaciones hacia la lámina 3.

Figura 3. Diferencia de las medias de exponentes H durante la resolución de la prueba de inhibición de la interferencia.

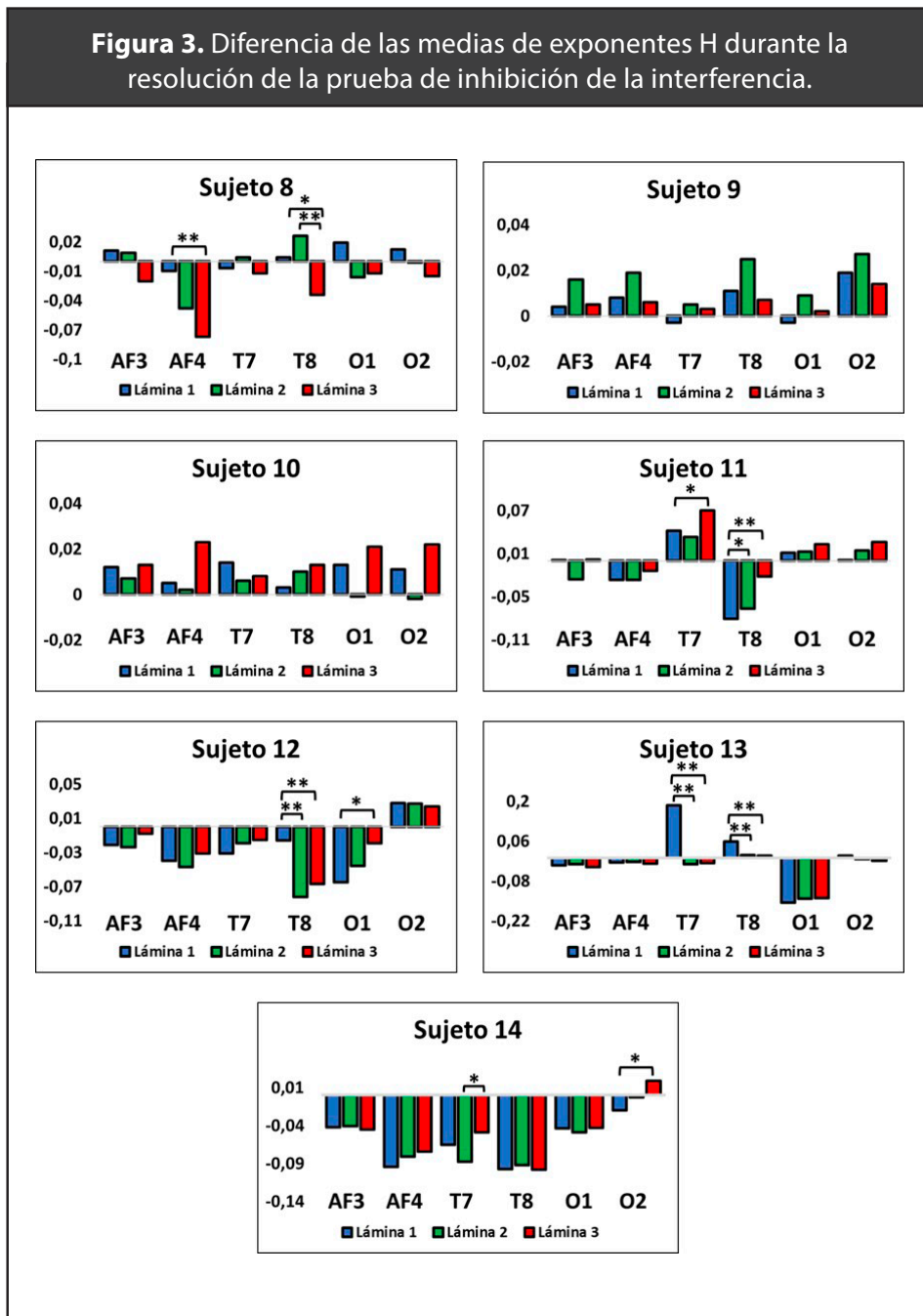
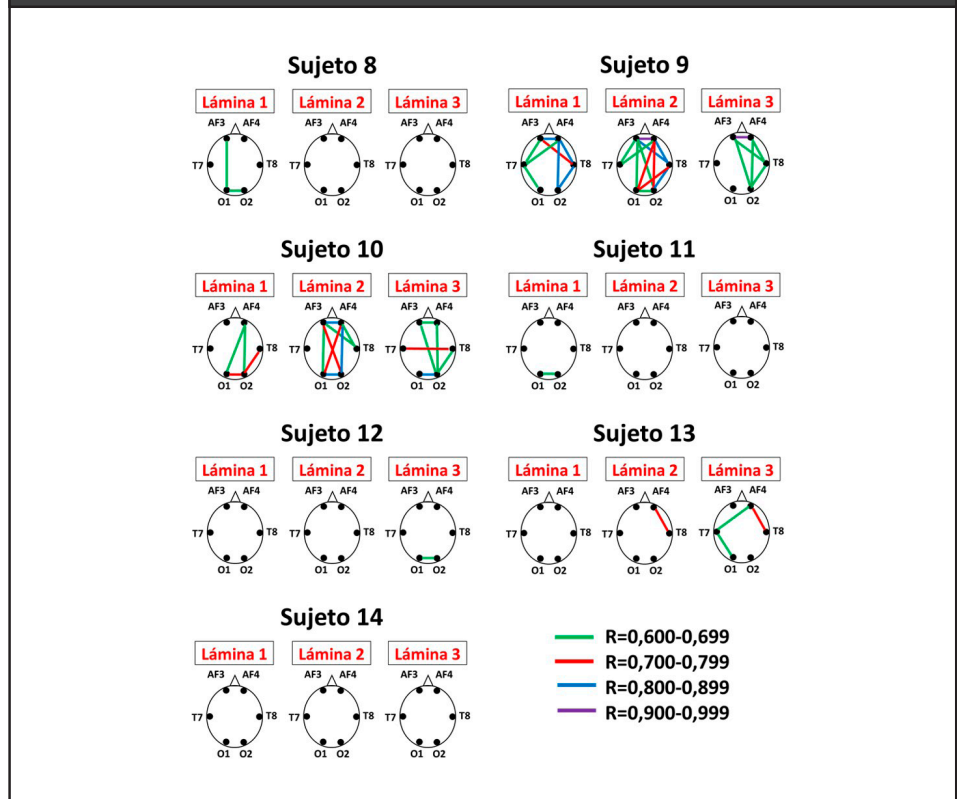


Tabla 2. ANOVA y pruebas de Tukey comparando las exponentes H de las regiones prefrontales, temporales y occipitales entre las tres láminas de la prueba de Stroop.

Sujeto	Electrodo	Lámina 1	Lámina 2	Lámina 3	F	p	Tukey
N° 8	AF4	-0,011±0,07	-0,048±0,06	-0,077±0,08	6,965	0,001	L1>L3
	T8	0,004±0,06	0,026±0,06	-0,034±0,05	12,104	0,000	L1-L2>L3
N° 11	T7	0,042±0,06	0,033±0,06	0,070±0,06	3,922	0,022	L3>L2
	T8	-0,081±0,07	-0,067±0,08	-0,022±0,08	5,709	0,004	L3>L1-L2
N° 12	T8	-0,016±0,07	-0,082±0,07	-0,068±0,07	9,829	0,000	L1>L2-L3
	O1	-0,065±0,07	-0,046±0,07	-0,019±0,07	4,302	0,016	L3>L1
N° 13	T7	0,185±0,09	-0,021±0,07	-0,018±0,06	106,009	0,000	L1>L2-L3
	T8	0,058±0,06	0,011±0,05	0,009±0,06	10,231	0,000	L1>L2-L3
N° 14	T7	-0,065±0,06	-0,088±0,06	-0,049±0,07	3,312	0,040	L3>L2
	O2	-0,020±0,06	-0,027±0,06	0,019±0,06	4,054	0,020	L3>L1

AF4=prefrontal izquierdo; T7=temporal izquierdo; T8=temporal derecho; O1=occipital izquierdo; O2=occipital derecho.

Figura 4. Correlaciones de exponentes H durante la resolución de la prueba de inhibición de la interferencia.



4. Discusión y conclusión

El objetivo de la presente investigación fue analizar los exponentes de Hurst y las correlaciones de dichos exponentes en la onda gamma durante la resolución de una tarea de atención alternante e inhibición de la interferencia en estudiantes universitarios. Recordemos que la onda gamma se relaciona con procesos de alta concentración, agrupación perceptiva, atención y memoria de trabajo Jia y Kohn (2011). Los resultados muestran que la mayoría de las regiones cerebrales estudiadas disminuyen las medias de los valores de los exponentes de Hurst de la onda gamma durante la resolución de una prueba de atención alternante, mostrando un mayor caos de la actividad eléctrica cerebral. Esta situación que se observa de preferencia en el hemisferio derecho (57% de la muestra) lo que podría explicarse ya que el hemisferio derecho posee un doble control del hemi-espacio atencional (región visual derecha e izquierda), en tanto el hemisferio izquierdo posee un mayor control del hemi-espacio derecho Maureira. (2018), lo anterior revela una mayor especialización cerebral derecha en los niveles de atención Ardila y Ostrosky. (2012), lo que se refleja en una mayor tendencia al caos en la actividad eléctrica durante la prueba de atención alternante, en más de la mitad de la muestra.

El cerebro es más eficiente cuando funciona de manera caótica Díaz et al. (2015), ya que el caos provee más grados de libertad que el orden, lo cual repercute en mayor flexibilidad a la hora de buscar alternativas para encontrar soluciones a problemas cognitivos Díaz et al. (2019). También se ha observado que un mayor nivel de caos puede ser correlacionado con una mayor eficiencia de transmisión de la información Ardila y Ostrosky. (2012). Esta situación es más evidente al observar que las medias del exponente H de la onda gamma disminuyen cuando resuelven la tarea atencional en relación con sus registros basales.

Durante la resolución de la prueba atencional ningún sujeto de la muestra presentó correlaciones altas entre los exponentes H de la onda gamma de las seis regiones cerebrales estudiadas, lo que indica una alta especialización de cada región de la corteza, lo cual produce una desincronización general, de esta forma es posible asignar recursos a procesamientos más específicos durante la resolución del problema cognitivo Díaz et al. (2017).

En relación con la prueba de inhibición de la interferencia el 71,4% de la muestra presenta modificaciones de las medias de los exponentes H de la onda gamma de las regiones temporales entre las tres láminas del instrumento. Esta situación no presenta

un patrón específico, ya que 42,9% de la muestra presenta una disminución de H a medida que las láminas son más complejas y un 28,5% presentan un aumento de H en la misma situación. Esto da cuenta de diversas estrategias cerebrales para afrontar problemas cognitivos de dificultad creciente, sobre todo en la región temporal donde se encuentra la corteza auditiva y el área de Wernicke relacionada con la comprensión del lenguaje Maureira. (2018) elemento primordial durante la lectura de palabras en la prueba de Stroop.

Durante la resolución de la prueba de inhibición el 85,7% de los sujetos de la muestra presentan variaciones del número de correlaciones altas entre los exponentes H de la onda gamma de las seis regiones cerebrales estudiadas entre las tres láminas de la prueba. Las correlaciones tampoco presentan un patrón específico, ya que el número de relaciones aumenta o disminuye a medida que aumenta la dificultad de la tarea, pero sin una tendencia clara al orden o caos a medida que esta tarea cognitiva se complejiza. Esto podría producirse ya que una tarea como la de la prueba Stroop necesita inhibir la tendencia automática de responder, por lo tanto, produce un conflicto frente a la respuesta de un estímulo Maureira. (2018) razón por la cual las estrategias cerebrales son diversas y complejas, esto podría reflejar una actividad cerebral más individualizada ya que entran en contradicción varios sistemas cerebrales como la producción de palabras, donde está implicada la corteza temporal y la corteza frontal dorsolateral, y la inhibición donde está implicada la corteza frontomedial.

Sería interesante estudiar estos fenómenos en otros grupos etarios (niños, adolescentes, adultos mayores, etc.), en otras bandas EEG (beta, por ejemplo) y en muestras femeninas, como una forma de contrastar los resultados aquí obtenidos.

5. Declaración de conflictos de interés

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

6. Fuentes de financiamiento

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

7. Referencias bibliográficas

- Aldana, C.; Buitrago, E. (2013). Actualidad en la investigación de electroencefalogramas-resonancia magnética funcional simultáneos en el estudio de epilepsia y dolor. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 32(1), pp. 29-47.
- Ardila, A.; Ostrosky, F. (2008). Desarrollo histórico de las funciones ejecutivas. *Revista de Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencia*, 8(1): pp. 1-21.
- Ardila, A.; Ostrosky, F. (2012). *Guía para el diagnóstico neuropsicológico*, Miami: Florida, Internacional University.
- Bear, M.; Connors, B.; Paradiso, M. (2016). *Neurociencia, la exploración del cerebro*, 4a ed., Madrid: Wolters Kluwer.
- Cerquera, A.; Arns, M.; Buitrago, E.; Gutiérrez, R.; Freund, J. (2012). Nonlinear dynamics measures applied to EEG recordings of patients with attention deficit/hyperactivity disorder: quantifying the effects of a neurofeedback treatment. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2012: pp. 1057-1060. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2012.6346116>
- Colombo, M.; Wei, Y.; Ramautar, J.; Linkenkaer-Hansen, K.; Tagliazucchi, E.; Van Someren, E. (2016). More severe insomnia complaints in people with stronger long-range temporal correlations in wake resting-state EEG. *Front Physiol*, 7. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00576>
- Díaz, H.; Maureira, F.; Cohen, E.; Córdova, F.; Palominos, F.; Otárola, J.; Cañete, L. (2015). Individual differences in the order/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. (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>
- Díaz, H.; Maureira, F.; Córdova, F.; Palominos, F. (2017). Long-range linear correlation and nonlinear chaos estimation differentially characterizes functional connectivity 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.; Flores, E.; Cifuentes, H.; Córdova, F. (2019). Synchronizing oscillatory chaos in the brain. *Procedia Computer Science*, 162, pp. 982-989. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.12.076>
- Díaz, H.; Maureira, F.; Otárola, J.; Rojas, R.; Alarcón, O.; Cañete, L. (2019). EEG Beta band frequency domain evaluation for assessing stress and anxiety in resting, eyes closed, basal conditions. *Procedia Computer Science*, 162, pp. 974-981. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.12.075>
- Flores, E.; Maureira, F.; Díaz, H.; Navarro, B. (2020). Modificaciones neurofisiológicas de ondas beta durante un test atencional tras una intervención de ejercicio físico. *Cultura, Ciencia y Deporte*, 15(44), pp. 201-211.
- Flores, E.; 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
- Gupta, A.; Singh, P.; Karlekar, M. (2018). A novel signal modeling approach for classification of seizure and seizure-free EEG signals. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 26(5), pp. 925-935. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2018.2818123>
- Jausovec, N.; Jausovec, K. (2010). Resting brain activity: differences between genders. *Neuropsychologia*, 48(13), pp. 3918-3925. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.09.020>
- Jia, X.; Kohn, A. (2011). Gamma rhythms in the brain. *Plos Biology*, 9(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001045>
- Klonowski, W. (2016). Fractal analysis of electroencephalographic time series (EEG Signals). In Di Leva A. editor. *The fractal geometry of the brain*. New York: Springer-Verlag, pp.413-429.

- Lozano, A.; Ostrosky, F. (2011). Desarrollo de las funciones ejecutivas y de la corteza prefrontal. *Revista de Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencia*, 11(1): 159-172.
- Maureira, F; Aravena, C.; Bahamondes, V.; Díaz, H.; Flores, E.; Gálvez, C.; Hadweh, M.; Maureira, Y.; Véliz, C. (2017). *¿Qué es la inteligencia?*, Madrid: Bubok Publishing.
- Maureira, F. (2018). *Principios de neuroeducación física*. 2° ed. Madrid: Bubok Publishing.
- Maureira, F.; Flores, E. (2016). *Principios de neuropsicobiología*. Valencia: Obrapropia.
- Maureira, F.; Flores, E. (2020). Estabilidad de la actividad eléctrica no lineal durante condiciones basales con los ojos cerrados. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 39(3).
- Maureira, F.; Flores, E.; Díaz, H. (2020). Diferencias inter e intra-hemisféricas de dinámicas no lineales de la señal de EEG durante la resolución de una prueba de atención. *Revista de la Facultad de Medicina*, 68(4), pp. 577-585. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v68n4.76046>.
- Munia, T.; Haider, A.; Schneider, C.; Romanick, M.; Fazel-Rezai, R. (2017). A novel EEG based spectral analysis of persistent brain function alteration in athletes with concussion history. *Sci Rep.*, 7(1), 17221. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17414-x>
- Pikovsky, A.; Rosenblum, M.; Kurths, J. (2001). *Synchronization: a universal concept in nonlinear sciences*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Portellano, J. (2005). *Introducción a la neuropsicología*, Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España.
- 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. 56-61.
- Racz, F.; Stylianou, O.; Mukli, P.; Eke, A. (2018). Multifractal dynamic functional connectivity in the resting-state brain. *Front Physiol.*, 9, 1704. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01704>
- Rahmani, B.; Wong, C.; Norouzzadeh, P.; Bodurka, J.; McKinney, B. (2018). Dynamical Hurst analysis identifies EEG channel differences between PTSD and healthy controls. *PLoS One*, 13(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199144>
- Smith, A. (1973). *Symbol digit modalities test manual*, Los Angeles: Western Psychological Services.
- Stroop J. (1935). Studies of interference in serial verbal reaction. *Journal Experimental Psychology*, 18, pp. 643-662.
- Tarnopolsky, M. (2018). Correlation between the Hurst exponent and the maximal Lyapunov exponent: Examining some low-dimensional conservative maps. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 490, pp. 834-844. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.08.159>
- 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>
- Zarjam, P.; Epps, J.; Lovell, N.; Chen, F. (2012). Characterization of memory load in an arithmetic task using non-linear analysis of EEG signals. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.*, pp. 3519-3522. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2012.6346725>