



Revista EIA  
ISSN 1794-1237  
e-ISSN 2463-0950  
Año XIX/ Volumen 19/ Edición N.38  
Junio-Diciembre de 2022  
Reia3812 pp. 1-14

Publicación científica semestral  
Universidad EIA, Envigado, Colombia

**PARA CITAR ESTE ARTÍCULO /  
TO REFERENCE THIS ARTICLE /**  
Hadweh-Briceño, M.; Maureira-Cid, F.  
(2022).

Actividad eléctrica no lineal de las ondas beta cerebrales durante una prueba de atención alternante e inhibición de la interferencia. Revista EIA, 19(38), Reia3812. pp. 1-14. <https://doi.org/10.24050/reia.v19i38.1544>

✉ *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:** 05-07-2021  
**Aceptado:** 22-01-2022  
**Disponible online:** 01-06-2022

# Actividad eléctrica no lineal de las ondas beta cerebrales durante una prueba de atención alternante e inhibición de la interferencia.

MARCELO HADWEH-BRICEÑO<sup>1</sup>

✉ FERNANDO MAUREIRA-CID<sup>2</sup>

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

## Resumen

**Introducción:** la atención alternante es un proceso que permite cambiar el foco atencional de un estímulo a otro con rapidez. En tanto, la inhibición de la interferencia corresponde a la capacidad de inhibir respuestas automáticas, que permiten responder controladamente frente a estímulos en conflicto. **Objetivo:** estudiar el comportamiento no-lineal de la oscilación beta (13-30 Hz) del EEG, evaluado a través del balance caos/orden cerebral, durante la ejecución de una prueba de atención alternante y una prueba de inhibición de la interferencia en estudiantes universitarios. **Método:** la muestra estuvo constituida por 14 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 alternante se utilizó la prueba de Smith y para la inhibición de la interferencia se utilizó la prueba de Stroop. **Resultados:** durante la prueba de atención alternante e inhibición de la interferencia los valores de los exponentes de Hurst tienden a disminuir, lo cual da cuenta de la existencia de procesos más complejos resultados de la desorganización de la actividad de dichas cortezas. Se observan pocas asimetrías entre cortezas izquierdas y derechas, y pocas correlaciones durante la resolución de ambas pruebas. **Conclusión:** Los exponentes de Hurst tienden a disminuir durante la resolución de la prueba de atención alternante y de inhibición de la interferencia, siendo esto un proceso adecuado para la resolución de problemas cognitivos.

**Palabras clave:** Electroencefalografía; atención alternante, inhibición, ondas beta, exponente de Hurst

# Nonlinear electrical activity of beta brain waves during an alternating attention and interference inhibition test.

## Abstract

**Introduction:** Alternating attention is a process that allows you to change the focus of attention from one stimulus to another quickly. Meanwhile, the inhibition of interference corresponds to the ability to inhibit automatic responses, which allow a controlled response to conflicting stimuli. Aim: study the non-linear behavior of the beta oscillation (13-30 Hz) of the EEG, evaluated through brain chaos/order balance, during the execution of an alternating attention test and a test of interference inhibition in university students. **Method:** The sample consisted of 14 male university students. For the electroencephalographic recording, the brain-interface device Emotiv Epoc $\varnothing$  Research Edition was used using the frontal, temporal and occipital lobe registers. The frequency range of 13 to 30 Hz (beta wave) was analyzed. For the evaluation of alternating attention, the Smith test was used and for the inhibition of interference, the Stroop test was used. **Results:** during the alternating attention test and interference inhibition the values of the Hurst exponents tend to decrease, which accounts for the existence of more complex processes resulting from the disorganization of the activity of these barks. There are few asymmetries between left and right crusts, and few correlations during the resolution of both tests. **Conclusion:** Hurst exponents tend to decrease during the resolution of the alternating attention and interference inhibition test, being this a suitable process for the resolution of cognitive problems.

**Key Words:** Electroencephalography; alternating attention, inhibition, beta waves, Hurst exponent

## 1. Introducción

La atención se caracteriza por una capacidad limitada de procesar información, lo cual puede ser controlado intencionadamente Styles. (2010). Este proceso cognitivo funciona como un mecanismo que favorece la selección de información obtenida del entorno De Vega. (1998). En la actualidad existen diversos modelos que realizan una subcategorización de la atención, identificando un estado de alerta, atención focal, span atencional, atención selectiva, atención sostenida, atención serial, atención *alternante*, etc. Maureira. (2018). Un tipo particular de atención denominada *alternante* corresponde a la capacidad para cambiar el foco atencional de un estímulo a otro con rapidez, cambiando el foco atencional voluntariamente Ramos, et al. (2016).

Por otra parte, la inhibición de la interferencia corresponde a un tipo de función ejecutiva y que puede definirse como la capacidad de inhibir respuestas automáticas, que permiten responder controladamente frente a estímulos en conflicto Grodzinsky y Diamond. (1992). Para Stelzer, Cervigni y Martino (2010) es una capacidad de supresión de respuestas de tipo motriz, afectivo o representativo. Por lo tanto, tiene relación con la capacidad de dominar activaciones automáticas de manera preferencial de procesamiento Flores, Castillo y Jiménez. (2014). La inhibición de respuestas es una función que controla la atención, el comportamiento, los pensamientos y las

emociones facilitando resistir estímulos internos o externos irrelevantes de la memoria de trabajo para responder apropiadamente Diamond. (2013).

El electroencefalograma (EEG) es un aparato que permite registrar la actividad eléctrica del cerebro en tiempo real con la ayuda de electrodos que se posicionan en el cuero cabelludo Thakor y Tong. (2004). Los electrodos captan la actividad eléctrica de distintas regiones cerebrales en la superficie del cráneo, dicha actividad eléctrica se origina en las células piramidales de la corteza cerebral, las cuales, constituyen un pequeño dipolo eléctrico y su polaridad está sujeta al impulso inhibitorio o excitatorio hacia la célula Ramos, et al. (2009).

Bear, Connors y Paradiso (2016) describen que el EEG registra las ondas cerebrales en base a su frecuencia, lo que permite distinguir entre: a) ondas delta (1-3 Hz) características de un sujeto en sueño profundo; b) ondas theta (3,5-7,5 Hz) durante las etapas de sueño liviano; c) ondas alfa (8-13 Hz) cuando un sujeto está despierto, pero relajado y con los ojos cerrados; d) ondas beta (13-30 Hz) características de un sujeto despierto y llevando a cabo alguna actividad intelectual; e) ondas gamma (>30 Hz) relacionadas con la percepción consciente y estados de meditación.

La información obtenida por el EGG se puede analizar a través de matemática no lineal, la cual, permite representar comportamientos caóticos, complejos e impredecibles Capra. (1998). Para el estudio del sistema nervioso, los análisis no lineales se han realizado para comprender la actividad neurofisiológica provenientes de los registros obtenidos del EEG Klonowski. (2016). En el estudio de los sistemas caóticos, se ha utilizado el exponente o índice H (Hurst), creado por Harold Hurst en 1951 para resolver el problema que generaba los crecimientos del río Nilo que afectaban la producción de las cosechas, lo que requería determinar el nivel de caudal del río en el tiempo con la finalidad de programar las cosechas y evitar pérdidas Arouxet y Pastor. (2017). El exponente de Hurst permite visualizar la relación entre orden/caos de un sistema en series de tiempo Kale y Butar. (2011).

El exponente de Hurst fluctúa entre 0 y 1, donde un valor H equivalente a 0,5 ( $H=0,5$ ) indica comportamiento caótico o movimiento browniano, representando un sistema imposible de predecir en un tiempo a futuro Rodríguez. (2014). Un valor H superior a 0,5 ( $H>0,5$ ) indica un comportamiento persistente, donde la tendencia del sistema actual continuará similar en el futuro. Finalmente, valores H inferiores a 0,5 ( $H<0,5$ ) corresponden a un comportamiento anti-persistente, es decir, que la actividad actual será opuesta en el futuro Díaz, Maureira y Córdova. (2017).

En este contexto, Natarajan et al. (2004) estudiaron el efecto de la música y estimulación reflexológica en las señales de EEG con distintos parámetros no lineales en adultos sanos. Los resultados arrojaron que los sujetos tienden a una actividad menos caótica con dichas estimulaciones, en comparación con el estado normal de reposo, en todos los parámetros no lineales. Zarjam et al. (2012) examinaron los cambios en la señal del EEG durante la ejecución de una prueba de memoria con niveles ascendentes de dificultad en adultos sanos. Los resultados indican que los valores de la onda delta varían a medida que aumenta el nivel de dificultad de la tarea, con una actividad eléctrica más caótica. Euler et al. (2016) mostraron una relación inversa entre los registros de las escalas onda delta y theta obtenidos del EEG y los resultados de la memoria de trabajo, donde los registros más altos provienen de las regiones posteriores de la corteza cerebral. Flores, et al. (2019) evaluó la onda 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. Un estudio de Maureira y Flores (2020) analizó la estabilidad de la actividad eléctrica del EEG durante dos minutos con los ojos cerrados. En los resultados se comparó los exponentes H entre el primer y segundo minuto, mostrando que en la

onda delta solo existieron variaciones en el 6 % de los registros, en la onda theta en el 8,3 %, en la onda alfa en el 11,9 %, en la onda beta en el 6 % y en la onda gamma en el 9,5 %. También se compararon con ventanas temporales de 30 y 10 segundos obteniendo resultados similares.

Maureira, Flores y Díaz (2020) sobre diferencias inter e intra-hemisféricas con EEG durante la resolución de una prueba de atención en estudiantes de educación física arrojó que mientras avanzaba la ejecución del test de atención, aumentaban las asimetrías hemisféricas en los sujetos. En otra investigación de Maureira et al. (2021) analizaron la estabilidad de las correlaciones de la actividad eléctrica no lineal en reposo con los ojos cerrado, mostrando estabilidad en el porcentaje de correlaciones en todas las ondas cerebrales en la mayoría de los sujetos para ventanas temporales de 10, 30 y 60 segundos. Maureira y Díaz (2021) estudiaron el comportamiento no-lineal de la oscilación beta (13-30 Hz) durante la ejecución de una prueba de atención sostenida en estudiantes universitarios. Los exponentes de Hurst tienden a disminuir durante la resolución de la prueba, lo cual permite mayor flexibilidad de procesamiento. Existiendo mayor tendencia al caos en la región temporal derecha que se relaciona con el reconocimiento de contenido, lo que es fundamental en pruebas de atención sostenida. Maureira, et al. (en prensa) evaluaron la actividad del EEG durante una prueba de atención alternante y una prueba de la inhibición de la interferencia. 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. En el caso de la prueba de inhibición, las modificaciones del exponente H no presento 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) del EEG, evaluado a través del balance caos/orden cerebral, durante la ejecución de una prueba de atención alternante y una prueba de inhibición de la interferencia en estudiantes universitarios.

## 2. Método

### *Muestra:*

Es de tipo no probabilística voluntaria, constituida por 14 varones estudiantes de la carrera de pedagogía en educación física de una Universidad de Santiago de Chile. La edad media de los evaluados fue de  $19,6 \pm 0,6$  años. Se evaluaron sólo varones entre 18 y 21 años, ya que Jausovec y Jausovec (2010) han descrito diferencias importantes en la actividad eléctrica cerebral según el sexo del evaluado. Esta misma situación se ha observado según diferentes rangos etarios Portnova y Atanov. (2016). Lo anterior llevó a reducir la muestra a varones con dicho rango de edad. Para formar parte de la muestra los participantes no debían presentar alteraciones cognitivas, consumir medicamentos y tampoco estar en tratamiento psicológico a lo menos un año antes de las evaluaciones. 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 participantes firmaron un consentimiento informado

### *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 electro-

dos 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 prefrontal (AF3 y AF4), temporal (T7 y T8) y occipital (O1 y O2). Se analizó el rango de frecuencia beta (13 a 30 Hz).

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 la 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. La corrección se realiza en base a las respuestas correctas alcanzadas.

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 el mismo tiempo 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. La corrección se realiza en base a las respuestas correctas alcanzadas.

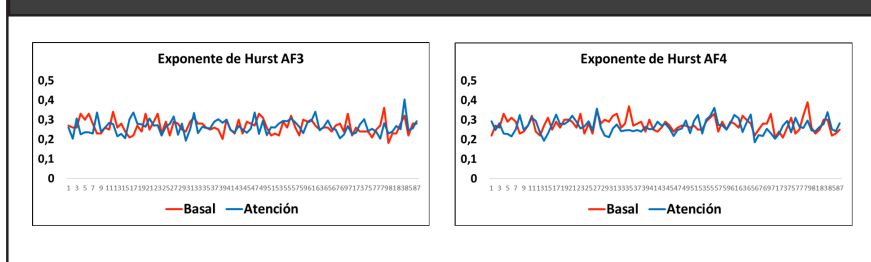
#### *Procedimiento:*

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. La totalidad de los participantes declararon no consumir drogas de forma habitual.

El día de la evaluación, cada participante fue llevado a una sala aislada del ruido y con una luminosidad adecuada. Aquí se registró su frecuencia cardíaca sentado en una silla, en estado de reposo durante cinco minutos para controlar que los estudiantes no estuviesen sobresaltados durante la evaluación.

Inicialmente se registró la actividad eléctrica cerebral basal durante dos minutos con ojos cerrados, despierto pero relajado y se analizó el rango de frecuencia beta (13-30 Hz). Después del registro basal, siete sujetos realizaron la prueba de atención alternante y siete sujetos realizaron la prueba de inhibición de la interferencia. Durante la resolución de estas pruebas, también se registró la actividad eléctrica cerebral y se analizó el rango de frecuencia beta (13-30 Hz). Con los registros de las ondas beta del EEG en estado basal y durante la resolución de las pruebas se procedió a calcular el exponente de Hurst para cada segundo. Por ejemplo, para el estado basal con ojos cerrados de dos minutos se obtuvieron 120 valores de Hurst (uno por cada segundo), acción que se realizó con cada uno de los seis electrodos utilizados (dos prefrontales, dos temporales y dos occipitales). De igual manera, se procedió a calcular el exponente de Hurst de las ondas beta para cada segundo de la prueba de atención alternante (90 segundos) y para cada segundo de cada una de las tres láminas de la prueba de Stroop (45 segundos por lámina). Esto se realizó para cada uno de los seis electrodos (Fig. 1).

**Figura 1.** Ejemplo de las oscilaciones de los exponentes H de la corteza prefrontal izquierda (AF3) y derecha (AF4) obtenidos en estado basal (en rojo) y durante la resolución de la prueba de atención alternante (en azul) de un sujeto de la muestra.



Una vez calculados los exponentes de Hurst se procedió a restar los valores obtenidos durante el registro basal con ojos cerrados a los valores de Hurst obtenidos durante la resolución de las pruebas, de esta forma se obtuvieron las modificaciones de los exponentes de Hurst atribuibles a la actividad cognitiva (Maureira y Flores, 2020). De esta forma se obtuvieron 90 deltas ( $\Delta$ ) para la prueba de atención alternante para cada electrodo y 45 deltas ( $\Delta$ ) para cada una de las tres láminas de la prueba de Stroop para cada electrodo.

El mu-Hurst corresponde al promedio de una serie de valores Hurst (Díaz et al., 2018). Con los 90  $\Delta$ Hurst de la prueba de atención alternante se calculó el  $\Delta$ mu-Hurst, que corresponde al promedio de los 90 $\Delta$ Hurst para cada uno de los seis electrodos durante la prueba de atención. Se realizó la misma acción para cada electrodo utilizado durante la realización de la lámina uno, lámina dos y lámina tres de la prueba de Stroop, obteniendo el  $\Delta$ mu-Hurst para los dos electrodos prefrontales, los dos temporales y los dos occipitales.

Para comparar los registros de las ondas beta del EEG entre el hemisferio izquierdo y derecho, se procedió a obtener el promedio  $\Delta$ mu-Hurst de los tres electrodos de la región cerebral izquierda (prefrontal izquierdo AF3, temporal izquierdo T7 y occipital izquierdo O1) y de los tres electrodos de la región cerebral derecha (prefrontal derecho AF4, temporal derecho T8 y occipital derecho O2).

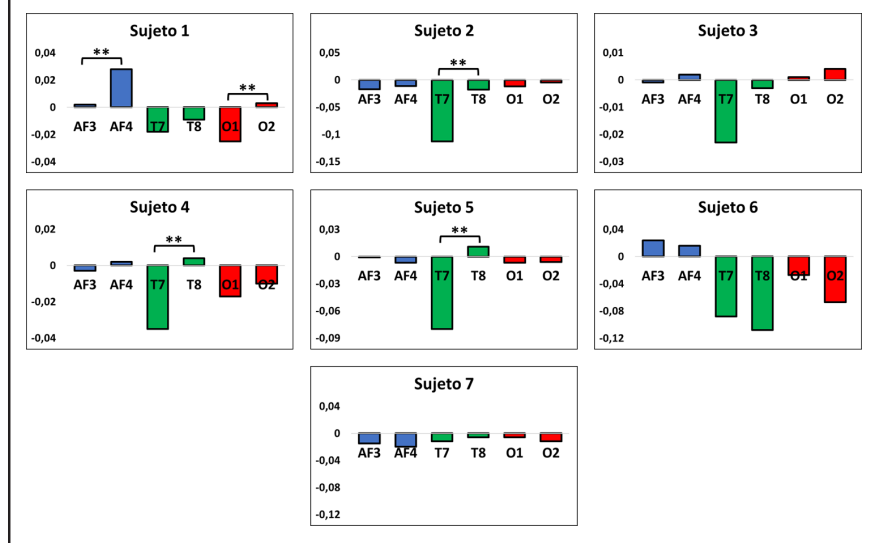
Finalmente, se realizaron correlaciones entre los valores  $\Delta$ mu-Hurst de los seis electrodos estudiados, para determinar la tendencia al trabajo global (sincronización) o trabajo individual (desincronización) de las diferentes regiones cerebrales durante la resolución de las pruebas de atención e inhibición.

Análisis de datos: una vez determinados los exponentes de Hurst, de los  $\Delta$ Hurst, de los  $\Delta$ mu-Hurst y de los promedios de los  $\Delta$ mu-Hurst se utilizó el programa estadístico SPSS 25.0 para Windows para analizar las variables. 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  $\Delta$ mu-Hurst entre cada electrodo del hemisferio derecho e izquierdo se utilizaron pruebas t para muestras independientes, para comparar las medias de  $\Delta$ mu-Hurst de cada electrodo entre las tres láminas del Stroop se utilizaron pruebas de ANOVA con post-hoc de Tukey, para comparar los promedios de los  $\Delta$ mu-Hurst del hemisferio izquierdo y derecho se utilizaron pruebas t para muestras independientes y para relacionar los  $\Delta$ mu-Hurst entre los seis electrodos estudiados se utilizaron correlaciones Pearson. Se consideraron significativos valores  $p < 0,05$ .

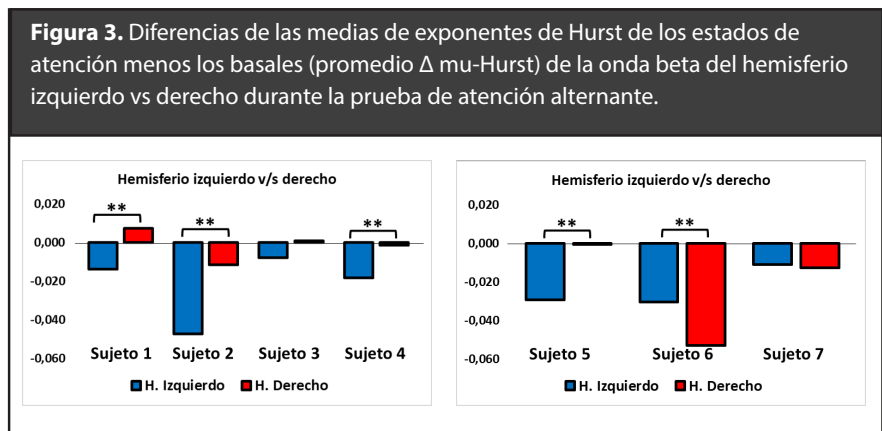
### 3. Resultados

En la figura 2 se observan los  $\Delta \mu$ -Hurst de la onda beta durante la resolución de la prueba de atención alternante. Es posible notar que la mayoría de las regiones cerebrales estudiadas tienden a disminuir sus exponentes de Hurst durante la resolución de la prueba (valores negativos en los gráficos), lo cual da cuenta de la existencia de procesos más complejos resultados de la desorganización de la actividad de dichas cortezas, lo que representa una actividad necesaria durante la resolución de problemas. Al comparar las regiones cerebrales derechas e izquierdas se observa que el sujeto 1 posee valores significativamente mayores en la corteza prefrontal derecha (AF4) que en la corteza prefrontal izquierda (AF3) durante la resolución de la prueba ( $p=0,002$ ;  $d=0,11$ ). La misma situación ocurre con las cortezas occipitales donde el valor es mayor en la región derecha en relación con la izquierda ( $p=0,001$ ;  $d=0,13$ ). En el sujeto 2 sólo se observan diferencias significativas en la corteza temporal ( $p=0,000$ ;  $d=0,44$ ), donde la región izquierda (T7) posee procesos dinámicos más complejos que aportan a la resolución de la prueba. En el sujeto 3 no se aprecian diferencias significativas entre ninguna corteza izquierda y derecha. El sujeto 4 posee mayores niveles de desorganización en la corteza temporal izquierda (T7) en comparación con la corteza temporal derecha (T8) la cual tiende a organizarse u ordenarse durante la resolución de la prueba de atención alternante ( $p=0,000$ ;  $d=0,16$ ). El sujeto 5 posee mayores niveles de desorganización de la corteza temporal izquierda (T7) en comparación con la corteza temporal derecha (T8) ( $p=0,000$ ;  $d=0,39$ ). Los sujetos 6 y 7 no presentan diferencias significativas entre ninguna corteza izquierda y derecha.

**Figura 2.** Diferencias de las medias de exponentes de Hurst de los estados de atención menos los basales ( $\Delta \mu$ -Hurst) de la onda beta durante la resolución de la prueba de atención alternante. En azul la región prefrontal, en verde la región temporal y en rojo la región occipital.

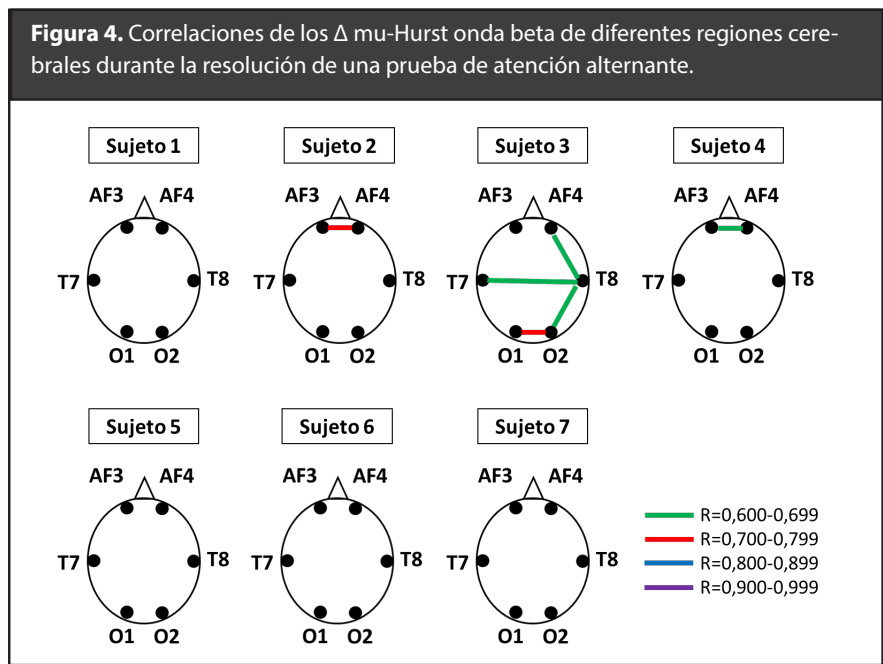


En la figura 3 se muestran las diferencias de los promedios  $\Delta$  mu-Hurst de los hemisferios izquierdo y derecho de los siete sujetos que resolvieron la prueba de atención alternante. El sujeto 1 presenta diferencias significativas ( $p=0,000$ ;  $d=0,16$ ) con mayores niveles de desorganización del hemisferio izquierdo en comparación con el derecho. El sujeto 2 también presenta diferencias significativas ( $p=0,000$ ;  $d=0,20$ ) con mayores niveles de desorganización del hemisferio izquierdo en comparación con el derecho. El sujeto 3 no presenta diferencias significativas entre ambos hemisferios. El sujeto 4 presenta diferencias significativas ( $p=0,001$ ;  $d=0,16$ ) con mayores niveles de desorganización del hemisferio izquierdo en comparación con el derecho. El sujeto 5 presenta diferencias significativas ( $p=0,000$ ;  $d=0,18$ ) con mayores niveles de desorganización del hemisferio izquierdo en comparación con el derecho. El sujeto 6 presenta diferencias significativas ( $p=0,000$ ;  $d=0,09$ ) con mayores niveles de desorganización del hemisferio derecho en comparación con el izquierdo. Finalmente, el sujeto 7 no presenta diferencias significativas entre ambos hemisferios.

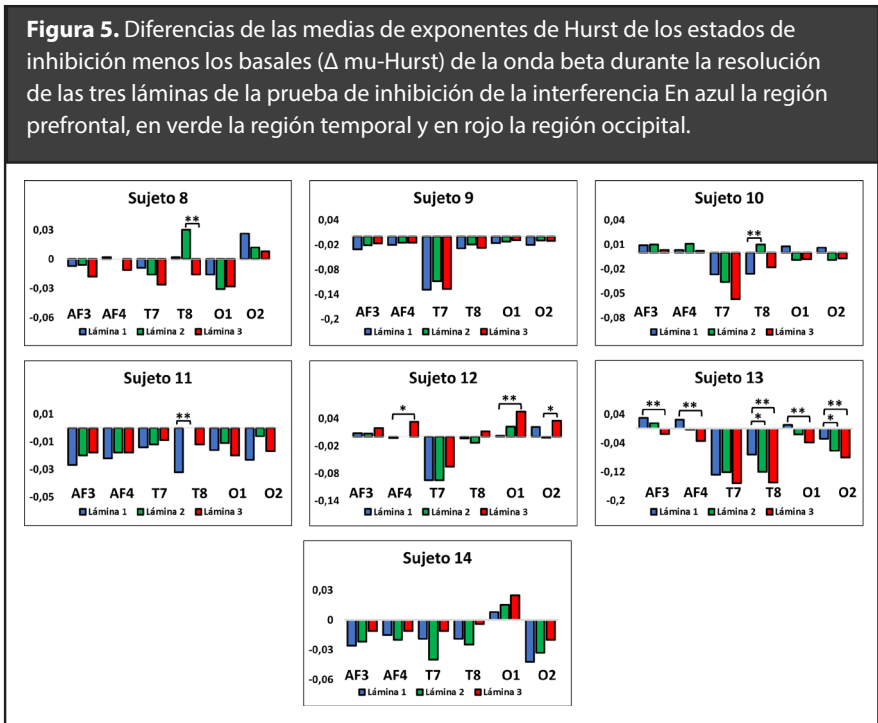


En la figura 4 se observan las correlaciones entre los  $\Delta$  mu-Hurst de las ondas beta durante la resolución de la prueba de atención alternante. El sujeto 1, 5, 6 y 7 no presentan ninguna relación entre los  $\Delta$  mu-Hurst de los seis electrodos estudiados. El sujeto 2 sólo presenta correlaciones entre las regiones prefrontales ( $p=0,000$ ;  $r=0,718$ ). El sujeto 3 presenta correlaciones entre la región prefrontal derecha y temporal derecha ( $p=0,000$ ;  $r=0,678$ ), temporal izquierdo y derecho ( $p=0,000$ ;  $r=0,654$ ), temporal derecho y occipital derecho ( $p=0,000$ ;  $r=0,687$ ) y occipital izquierdo y derecho ( $p=0,000$ ;  $r=0,705$ ) y el sujeto 4 presenta correlaciones entre la región prefrontal izquierda y derecha ( $p=0,000$ ;  $r=0,662$ ).

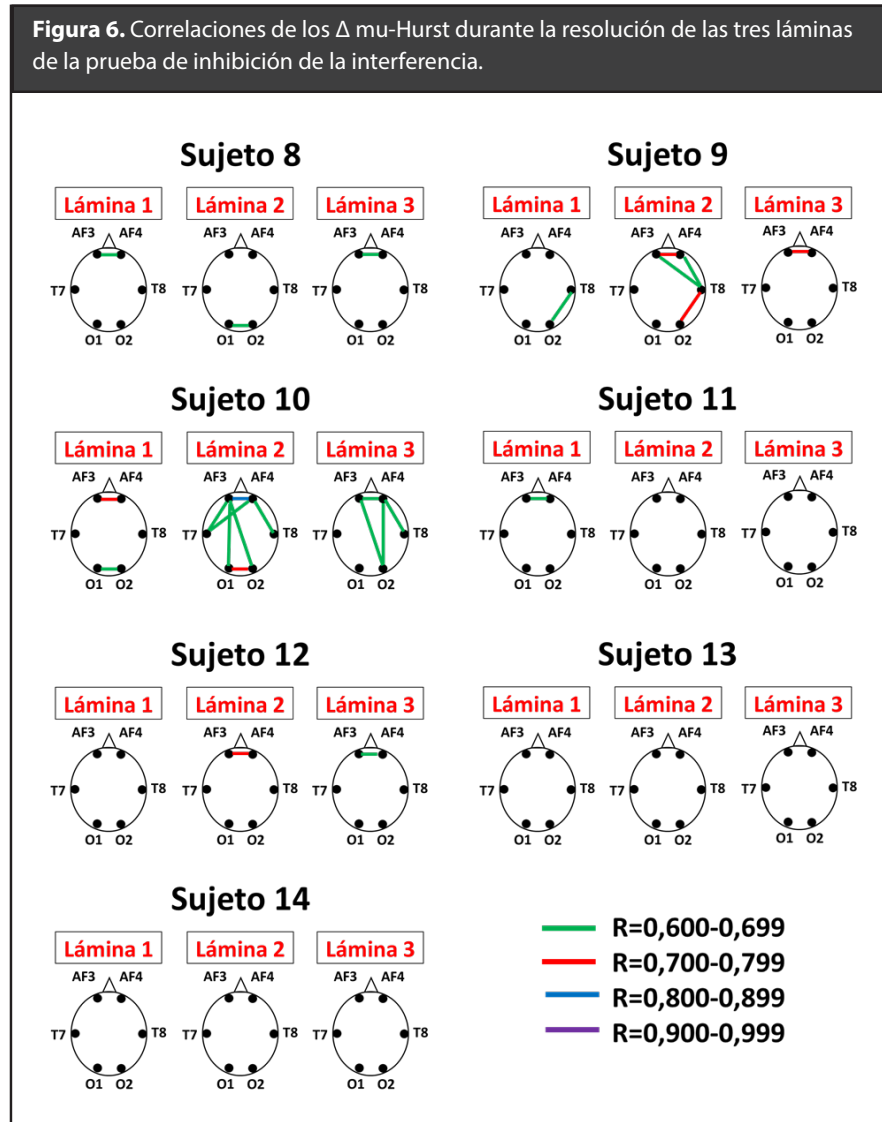




En la figura 5 se muestran las diferencias de los  $\Delta$  mu-Hurst entre las tres láminas de la prueba de inhibición. Es posible notar que la mayoría de las regiones cerebrales estudiadas tienden a disminuir sus exponentes de Hurst durante la resolución de las tres láminas de la prueba. En el sujeto 8 solo la corteza temporal derecha (T8) posee diferencias significativamente mayores de desorganización durante la resolución de la lámina tres de la prueba ( $p=0,000$ ). El sujeto 9 no presentan diferencias significativas en ninguna de las regiones cerebrales estudiadas entre las tres láminas de la prueba Stroop. En el sujeto 10 la corteza temporal derecha (T8) posee diferencias significativamente mayores de organización durante la resolución de la lámina dos de la prueba ( $p=0,009$ ). Misma situación ocurre al sujeto 11 pero durante la resolución de la lámina uno de la prueba ( $p=0,006$ ). En el sujeto 12 la corteza prefrontal derecha (AF4), occipital izquierda (O1) y occipital derecha (O2) poseen diferencias significativamente mayores de organización durante la resolución de la lámina tres de la prueba ( $p=0,040$ ;  $p=0,001$ ;  $p=0,038$  respectivamente). En el sujeto 13 las seis cortezas estudiadas tienden a desorganizarse a medida que aumenta la complejidad de la prueba, con niveles significativamente mayores en la lámina 3 (AF3=0,004; AF4=0,000; T8=0,000; O1=0,004; O2=0,001). Finalmente, el sujeto 14 no presentan diferencias significativas en ninguna de las regiones cerebrales estudiadas entre las tres láminas de la prueba Stroop.



En la figura 6 se muestran los análisis de correlaciones que revelan relaciones significativas altas ( $r > 0,600$ ). Los sujetos 9 y 10 presentan un incremento de correlaciones durante la resolución de la lámina dos de la prueba Stroop. Los sujetos 8, 11 y 12 sólo presentan correlaciones entre las cortezas prefrontales durante la resolución de algunas láminas de la prueba. Finalmente, los sujetos 13 y 14 no presentan correlaciones altas durante la resolución de ninguna de las láminas de la prueba Stroop.



#### 4. Discusión y conclusión

El objetivo de la presente investigación fue estudiar el comportamiento no-lineal de la oscilación beta (13-30 Hz) del EEG, evaluado a través del balance caos/orden cerebral, durante la ejecución de una prueba de atención alternante y una prueba de inhibición de la interferencia en estudiantes universitarios. Los  $\Delta$  mu-Hurst durante la ejecución de la prueba de atención de Smith tiende a ser negativa, en la mayoría de los casos. Las regiones prefrontales presentan diferencia izquierda/derecha sólo en un sujeto, con predominancia al desorden en la mayoría de la muestra. Las regiones temporales presentan diferencia izquierda/derecha en tres estudiantes, con mayor tendencia al desorden en las regiones izquierdas. La disminución de los valores de los exponentes de Hurst durante la realización de la prueba podría relacionarse con la necesidad de un trabajo más activo de la región temporal asociada a procesos de memoria Bear, Connors y Paradiso. (2016), ya que los estudiantes debían recordar las claves relacionadas con los números durante el cambio de foco atencional y así poder completar la prueba. Las regiones occipitales (asociadas a procesos visuales) sólo pre-

sentaron asimetría izquierda/derecha en un sujeto, con predominancia al desorden en la mayoría de los estudiantes.

Las cortezas prefrontales y occipitales parecen tener una tendencia al caos similar en ambos hemisferios, durante la resolución de la prueba de atención alternante. Esto indica una flexibilidad similar de regiones izquierdas y derechas durante el procesamiento de respuestas a problemas atencionales Maureira y Díaz. (2021).

Los promedios de los  $\Delta$  mu-Hurst de cada hemisferio revela una tendencia más caótica en el hemisferio izquierdo (en cuatro de los estudiantes). Esto podría explicarse porque la percepción analítica, relacionada con la percepción de rasgos esenciales, su ubicación y las relaciones espaciales entre elementos, involucran regiones temporo-parieto-occipitales del hemisferio izquierdo Cabrales. (2015).

Solo en un sujeto se observan correlaciones importantes entre los  $\Delta$  mu-Hurst de las distintas regiones cerebrales estudiadas. El hecho de que la mayor parte de la muestra no presente dichas correlaciones es indicativo de una actividad disociada de estas regiones, con un trabajo especializado donde las tareas mentales producen desincronización cerebral para asignar recursos a procesamiento más específicos para resolver el problema cognitivo Díaz, Maureira, Córdova y Palominos. (2017). Esta situación es similar a la que ocurre durante la resolución de las tres láminas de la prueba de Stroop, donde se presentan algunas correlaciones sólo en dos sujetos y sólo en algunas láminas, presentando un patrón general de carencia de correlaciones entre las seis regiones cerebrales estudiadas, situación análoga a lo que ocurre durante la resolución de la prueba de atención alternante.

Los  $\Delta$  mu-Hurst durante la ejecución de la prueba de inhibición de Stroop tiende a ser negativa, en la mayoría de los casos. Al comparar las regiones prefrontales durante la resolución de las tres láminas de la prueba, en la mayoría no se observan diferencias significativas, pese a que la dificultad de la prueba aumenta con cada lámina. Una situación similar ocurre con las regiones occipitales. Las regiones temporales son las que presentan mayor tendencia al caos, y pese a que cuatro estudiantes presentan diferencias entre las láminas de la prueba, no se observa un patrón característico asociado a un aumento de la dificultad, con aumentos o disminuciones de los niveles de desorden a medida que progresa la complejidad del problema cognitivo a resolver. Lo anterior da cuenta de diversas estrategias cerebrales para afrontar problemas cognitivos de dificultad creciente Maureira, et al. (En prensa). Esto podría explicarse ya que una prueba como la de Stroop produce conflictos frente a la respuesta a un estímulo, con estrategias individualizadas donde algunos sujetos aumentan, en tanto, otros disminuyen el caos de la actividad eléctrica cerebral, lo que podría revelar diversos caminos en las dinámicas biofísicas cuando se enfrenta a un problema que contradice varios sistemas cerebrales.

Un hecho interesante es que ninguna estrategia específica esta asociada a un mejor rendimiento en las pruebas de atención alternante o inhibición de la interferencia, es decir, un aumento o disminución del desorden en los registros del EEG no conlleva necesariamente un mejor resultado en las pruebas. Sin embargo, es posible especular que un trabajo más caótico de la actividad cerebral conlleva una menor dispersión energética, ya que la entropía tiende a generar procesos espontáneos y el orden requiere de energía para permanecer o aumentar dicho estado Lebowitz. (2000). Por esta razón las dinámicas cerebrales más caóticas permitirían una actividad más prolongada en el tiempo, en contraste con aquellos que presentan una actividad cerebral

más ordenada, que pese a obtener resultados similares necesitan un mayor gasto energético.

Son necesarias más investigaciones de la actividad eléctrica cerebral durante la realización de pruebas cognitivas, con diversos tiempos de ejecución para indagar sobre la relación orden/caos y los efectos que pudiese ejercer el tiempo de resolución sobre los resultados de las pruebas. También sería importante ampliar el rango etario y sexo de la muestra.

### **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 bibliográficas**

- Arouxet, M.; Pastor, V. (2017). Estudio del exponente de Hurst. *Mecánica Computacional*, 35: pp.2503-2510.
- Bear, M.; Connors, B.; Paradiso, M. (2016). *Neurociencia, la exploración del cerebro*. 4° ed. Madrid, Wolters Kluwer.
- Cabrales, A. (2015). Neuropsicología y la localización de las funciones cerebrales superiores en estudios de resonancia magnética funcional con tareas. *Acta Neurol Colomb*, 31(1): pp.92-100.
- Capra, F. (1998). *La trama de la vida*. Barcelona: Anagrama.
- De Vega, M. (1998). *Introducción a la Psicología Cognitiva*. Madrid: Alianza.
- Diamond, A. (2013). Funciones ejecutivas. *Revisión Anual de Psicología*, 64: pp.135-168.
- 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.; 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>
- Euler, M.; Wiltshire, T.; Niermeyer, M.; Butner, J. (2016). working memory performance inversely predicts spontaneous delta and theta-band scaling relations. *Brain Research*, 1637: pp. 22-33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.brainres.2016.02.008>
- 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>
- Flores, J.; Castillo, R.; Jiménez, N. (2014). Desarrollo de funciones ejecutivas, de la niñez a la juventud. *Anales de Psicología*, 30(2): pp.463-473.
- Grodzinsky, G.; Diamond, R. (1992). Frontal lobe functioning in boys with attention-deficit hyperactivity disorder. *Developmental Neuropsychology*, 8(4): pp.427-445.
- 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>
- Kale, M.; Butar, F. (2011). Fractal analysis of time series and distribution properties of Hurst exponent. *Journal of Mathematical Science and Mathematics Education*. 5: pp.8-19.

- Klonowski, W. (2016). Fractal análisis of electroencephalographic time series (EEG signals), Di Leva, A. The fractal geometry of the brain, New York: Springer-Verlag, pp.413-429.
- Lebowitz, J. (2000). La entropía de Boltzmann y la flecha del tiempo. *Rev Esp de Fís*, 14(4): pp.26-31.
- Maureira, F.; Díaz, H. (2021). Actividad eléctrica no lineal de las ondas beta cerebrales durante una prueba de atención sostenida. *Revista EIA*, 18(36): pp.1-13. <https://doi.org/10.24050/reia.v18i36.1506>
- 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.; Hadweh, M.; Flores, E.; Silva, A. (2021). Estabilidad de las correlaciones de la actividad eléctrica no lineal del cerebro durante un estado de reposo con los ojos cerrados. *Revista EIA*, 18(35): pp.1-13. <https://doi.org/10.24050/reia.v18i35.1463>
- 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): pp.e626.
- Maureira, F.; Flores, E.; Díaz, H. (2020). Diferencias inter e intra-hemisféricas de dinámicas no lineales en las señales de electroencefalograma durante la resolución de una prueba de atención. *Revista de la Facultad de Medicina*, 68(4): pp.577-585.
- Maureira, F. (2018). Principios de neuroeducación física. 2º ed. Madrid: Bubok Publishing.
- Natajara, K.; Acharya, R.; Alias, F.; Tiboleng, T.; Puthusserypady, S. (2004). Nonlinear analysis of EEG signals at different mental states. *BioMedical Engineering OnLine*, 3: pp.7. <https://doi.org/10.1186/1475-925X-3-7>
- 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.
- Ramos, F.; Morales, G.; Egozcue, S.; Pabón, R.; Alonso, M. (2009). Técnicas básicas de electroencefalografía: principios y aplicaciones clínicas. *An Sist Sanit Navar*, 32(S3): pp.69-82.
- Ramos, C.; Paredes, L.; Andrade, S.; Santillán, W.; González, L. (2016). Sistemas de atención focalizada, sostenida y selectiva en universitarios de Quito-Ecuador. *Rev. Ecuat. Neurol*, 25(1-3): pp.34-38.
- Rodríguez, R. (2014). El coeficiente de Hurst y el parámetro  $\alpha$ -estable para el análisis de series financieras. Aplicación al mercado cambiario mexicano. *Contaduría y Administración*, 59(1): pp.149-173.
- Smith A. (1973). Symbol digit modalities test manual. Los Ángeles: Western Psychological Services.
- Stelzer, F.; Cervigni, M.; Martino, P. (2010). Bases neurales del desarrollo de las funciones ejecutivas durante la infancia y adolescencia. Una revisión. *Revista Chilena de Neuropsicología*, 5(3): pp.176-184.
- Stroop J. (1935). Studies of interference in serial verbal reaction. *Journal Expedients Psychology*, 18: pp.643-662.
- Styles, E. (2010). Psicología de la atención. Madrid: Universitaria Ramón Areces.
- Thakor, N.; Tong, S. (2004). Advances in quantitative electroencephalogram analysis methods. *Annu. Rev. Biomed*, 6: pp.453-495.
- 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. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. <https://doi.org/10.1109/embc.2012.6346725>