

Efectos de una sesión de ejercicio físico sobre la actividad no lineal de las ondas cerebrales en estado basal

Effects of a physical exercise session on the nonlinear activity of brainwaves at baseline

*Fernando Maureira Cid, **Elizabeth Flores Ferro, ***Hernán Díaz Muñoz, ****Helaine Barroso dos Rei, *****Carlos Romualdo Rueff-Barroso, *Patricia Bravo Rojas, *Álvaro Segueida Lorca, ***Tomás Herrera Valenzuela, *****Marcelo Hadweh Briceño

*Universidad Católica Silva Henríquez (Chile), **Universidad Bernardo O'Higgins (Chile), ***Universidad de Santiago (Chile), ****Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de Espírito Santo (Brasil), *****Universidad Federal de Espírito Santo (Brasil), *****Universidad Arturo Prat Santiago (Chile)

Resumen. Introducción: en las últimas décadas el electroencefalograma se ha utilizado para estudiar los efectos del ejercicio físico sobre la actividad eléctrica cerebral, incluyendo nuevos paradigmas con matemáticas no lineales y teoría del caos. **Material y método:** El objetivo de la presente investigación fue determinar los efectos de 30 minutos de ejercicio físico aeróbico sobre la actividad neurofisiológica cerebral durante un estado basal. La muestra estuvo constituida por 13 varones voluntarios (siete experimentales y seis controles). El registro de la actividad cerebral (electroencefalografía) se realizó a través de un dispositivo cerebro-interfaz Emotiv EPOC® mientras los estudiantes permanecían dos minutos sentados con los ojos cerrados. Los registros se realizaron antes y después de un trabajo aeróbico de 30 minutos de trote. **Resultados:** las ondas delta presentan variaciones similares de los índices de Hurst entre sujetos del grupo control y experimental en las cortezas prefrontales temporales y occipitales, situación similar que ocurre con las ondas theta. Las ondas alfa resultan ser las más estables con pocas modificaciones entre la primera y segunda medición. Las ondas beta presentan variaciones similares en la región prefrontal y occipital entre el grupo control y experimental, pero en la región temporal existe mayor número de modificaciones en los sujetos que realizaron ejercicio físico. Las ondas gamma presentan mayor variabilidad en los sujetos controles con respecto a los experimentales. **Conclusiones:** Los índices de Hurst de las ondas delta, theta, alfa, beta y gamma de la corteza prefrontal, temporal y occipital en estado basal aumentan y disminuyen, sin encontrarse un patrón característico tras la intervención con ejercicio físico.

Palabras claves: electroencefalografía, actividad basal, ejercicio aeróbico, sistemas dinámicos, teoría del caos.

Abstract. Introduction: In recent decades the electroencephalogram has been used to study the effects of physical exercise on brain electrical activity, including new paradigms with nonlinear mathematics and chaos theory. **Material and method:** The aim of this research was to determine the effects of 30 minutes of aerobic physical exercise on brain neurophysiological activity during a baseline state. The sample consisted of 13 male volunteers (seven experimental and six controls). The recording of brain activity (electroencephalography) was performed through a brain-interface device Emotiv EPOC® while the students sat with their eyes closed for two minutes. The logs were performed before and after a 30-minute aerobic exercise. **Results:** delta waves show similar variations of Hurst indices between control and experimental group subjects in temporal and occipital prefrontal cortex, a similar situation that occurs with theta waves. Alpha waves turn out to be the most stable with few modifications between the first and second measurements. The beta waves show similar variations in the prefrontal and occipital regions between the control and experimental groups, but in the temporal region there are more modifications in the subjects who performed physical exercise. Gamma waves show greater variability in control subjects compared to experimental ones. **Conclusions:** The Hurst indices of delta, theta, alpha, beta and gamma waves of the prefrontal, temporal and occipital cortex at baseline increase and decrease, without finding a characteristic pattern after intervention with physical exercise.

Keywords: electroencephalography, basal activity, aerobic exercise, dynamic systems, chaos theory.

Introducción

El electroencefalograma (EEG) es un instrumento que consiste en electrodos que se ubican sobre el cuero cabelludo y que registra la actividad eléctrica de la corteza cerebral (Maureira, 2017). Hans Berger en 1929 fue el primero que registro esta actividad en humanos (Palacios, 2002) y desde entonces han proliferados los estudios que utilizan el EEG para monitorear la actividad cerebral durante las etapas del sueño, la vigilia, cuando se resuelven problemas cognitivos o durante procesos de imaginación (Bear, Connors y Paradiso, 2016). La señal del EEG puede descomponerse en cinco ondas cerebrales: a) ondas delta (de 1-3 Hz) asociadas a procesos de sueño profundo; b) ondas theta (3,5-7 Hz) relacionadas con etapas de sueño ligero; c) ondas alfa (8-12 Hz) cuando un sujeto esta desierto, relajado y con los ojos cerrados; d) ondas beta (13-30 Hz) predominantes en un sujeto des-

pierto, durante las percepciones de estímulos o que resuelven tareas cognitivas; e) ondas gamma (>30 Hz) asociadas a estados de alta concentración y meditación (Maureira y Flores, 2016).

Diversos estudios revelan la relación entre el ejercicio físico, aplicado durante una o varias sesiones, con cambios en la actividad eléctrica cerebral. Ludyga, Gronwald y Hottenrott (2016) evaluaron a 36 ciclistas asignándolos a tres grupos: a) ejercicio de alta cadencia con 120 revoluciones por minuto; b) ejercicio de baja cadencia; c) control. Se aplicó 4 horas de entrenamiento de resistencia básico por semana y los grupos A y B realizaron además cuatro sesiones de 60 minutos de trabajo con alta y baja cadencia respectivamente. Los resultados mostraron una reducción de la potencia de ondas alfa y beta en A y B, situación que podría asociarse a la sensación de fatiga durante el entrenamiento. Por su parte, Ftaiti, Kacem, Jaidane, Tabka y Dogui (2010) evaluaron a un grupo de mujeres asignándolas a dos grupos: a) ejercicio extenuante con temperatura ambiente neutra; b) ejercicio extenuante con calor. El índice de ondas alfa/beta aumentó significativamente en el grupo B ($p < .01$), con-

cluyéndose que el trabajo físico en condiciones de calor produce cambios en la actividad cerebral que podrían relacionarse a mayor fatiga.

Fumoto, Oshima, Kamiya, Kikuchi, Seki, Nakatani, et al. (2010) mostraron un aumento en los niveles de hemoglobina oxigenada en la corteza prefrontal y aumento en la señal del EEG en la onda alfa superior (10-13 Hz) durante y tras 15 minutos de trabajo aeróbico en cicloergómetro con 60 revoluciones por minuto, lo cual podría ser causado por el aumento de serotonina en los niveles sanguíneos. Más recientemente, Hübner, Godde y Voelcker-Rehage (2018) mostró que los adultos mayores poseen menos potencia de las ondas alfa frontales durante un estado de reposo en relación con sujetos más jóvenes, y una potencia mayor en ondas beta frontales, centrales y parietales durante una prueba de fuerza en agarre, lo que sugiere que los adultos mayores necesitan más potencia de la onda beta durante pruebas de fuerza que los jóvenes. Engchuan, Wongsuphasawat y Sittiprapaporn (2017) examinaron el efecto del entrenamiento de pesas de press banca sobre las señales del EEG, encontrando un aumento significativo ($p < .05$) en la amplitud de la señal de ondas beta y gamma durante el entrenamiento. Los autores concluyen que el entrenamiento intenso con pesas provoca modificaciones de la actividad eléctrica cerebral y que esto podría estar asociado a la cognición y la percepción del entrenamiento.

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), al igual que muchos otros fenómenos biológicos como el crecimiento de poblaciones o la actividad cardíaca (Montero y Moran, 1992). Dentro de estas herramientas, el índice de Hurst (H) sirve para estudiar series temporales altamente dependientes de las condiciones iniciales del fenómeno (Díaz, Maureira y Córdova, 2017). El índice H varía entre 0 y 1, siendo $H=0$ indicador de un sistema completamente caótico; $H=1$, un sistema totalmente predecible; y $H=0,5$, un tipo de caos estadístico conocido como *ruido café* (o brown noise). Para valores de $H < 0,5$, la serie de tiempo es regida por atractores caóticos anti-persistentes, donde la tendencia futura de la oscilación será permanentemente amortiguada hacia algún valor de tendencia central. Se espera entonces, que cada valor sucesivo de la serie tendrá una tendencia opuesta al valor anterior. Se dice de estos procesos que poseen memoria de corto plazo. $H > 0,5$ refleja un proceso regido por atractores constructivos o destructivos. Procesos influenciados por el efecto Hurst, en donde es posible ver una tendencia progresiva (positiva o negativa) de los datos en el tiempo. Aquí, cada valor sucesivo de la serie tiende a seguir la misma tendencia precedente. Se dice de estos procesos que poseen memoria de largo plazo (Díaz, Maureira, Cohen, Córdova, Palominos, Otárola, et al., 2015; Díaz, Maureira, Córdova y Palominos, 2017).

En este contexto, Flores, Maureira, Díaz, Navarro, Gavotto y Matheu (2019) evaluaron los efectos de 30 minutos de ejercicio físico aeróbico sobre la actividad eléctrica cerebral durante la resolución de una prueba de atención selectiva, observando un aumento del índice de Hurst de las ondas beta tras la intervención en la corteza prefrontal y occipital. Además, todos los sujetos evaluados presentaron correla-

ciones lineales medias y altas intercanales, entre la corteza prefrontal, temporal y occipital durante la realización de la prueba de atención con una leve disminución de los valores R (correlaciones) tras el ejercicio físico. Los autores concluyen que la diferencia en los índices de Hurst podría estar implicada en la mejora de puntajes en la prueba de atención tras el ejercicio, aunque no se encontraron patrones en los mapas de correlaciones que pudiesen asociarse a dicha mejora. Otro estudio de Maureira, Díaz, Flores, Gavotto y Hadweh (2020) muestra como 30 minutos de ejercicio físico aeróbico produce variaciones en los índices H de las ondas gamma en la región prefrontal izquierda y derecha durante un test de atención. Este estudio tampoco encontró un patrón en los mapas de inter-correlación entre canales que pudiese asociarse con la mejora de resultados de la atención.

En base a los antecedentes mencionados surge el objetivo de la presente investigación: determinar los efectos del ejercicio físico sobre la actividad no lineal de las diversas ondas cerebrales en estado basal.

Metodología

Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es cuantitativa, de tipo experimental con un diseño cuasi-experimental.

Muestra

Fue de tipo no probabilística voluntaria. Se evaluaron a 13 varones estudiantes de educación física de la Universidad Católica Silva Henríquez de Santiago de Chile, con edad promedio de $19,2 \pm 1,54$ años. Ninguno de los participantes presentaba lesiones o trastornos que le impidieran realizar ejercicio físico, tampoco presentaban alteraciones cognitivas, no estaban consumiendo medicamentos, ni estaban en tratamiento psicológico, por lo menos un año antes de las evaluaciones. Todos aquellos que tenían uno o más de estas características fueron excluidos del experimento. La presente investigación fue aprobada por el comité de ética de la Universidad Católica Silva Henríquez. Todos los participantes firmaron un consentimiento informado.

Instrumentos

Para el registro EEG 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 (Fig. 1) 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

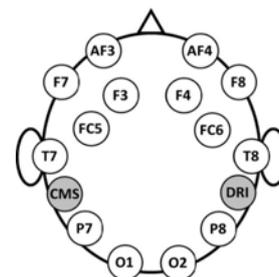


Figura 1. Localización de los electrodos del Emotiv EPOC® durante el estudio.

occipital (O1 y O2). Se registraron dos minutos de estado basal de la actividad cerebral. Se analizó el rango de frecuencia delta (1-3 Hz), theta (3,5-7 Hz), alfa (8-12 Hz), beta (13-30 Hz) y gamma (>30 Hz).

Procedimiento

Siete estudiantes fueron asignados aleatoriamente al grupo experimental y seis al grupo control. Para cada participante se registró su frecuencia cardíaca basal durante cinco minutos recostados en posición decúbico-dorsal en una colchoneta. Posterior a eso se realizó un registro basal de la actividad cerebral con dos minutos con los ojos cerrados. El grupo experimental fue sometido a un trabajo aeróbico de 30 minutos de trote en un treadmill BHF1 serie F, con una intensidad entre el 60 y 75% de la frecuencia cardíaca máxima del sujeto, la cual se obtuvo con la fórmula de Karvonen: $(FC_{\text{máx}} - FC_{\text{Cr}}) * \% \text{ de trabajo} + FC_{\text{Cr}}$; donde $FC_{\text{máx}}$ es la frecuencia cardíaca máxima y FC_{Cr} es la frecuencia cardíaca de reposo (Willmore y Costill, 2004). Esto se controló con un dispositivo pectoral de medición de FC modelo Polar T31-CODED. Una vez terminada la intervención con ejercicio físico, se esperó a que los participantes volvieran a su frecuencia cardíaca de reposo (los tiempos oscilaron entre 5 y 7 minutos) y se registró nuevamente la actividad cerebral basal durante dos minutos con los ojos cerrados. El grupo control estuvo 30 minutos relajado y sentado entre la primera y segunda medición.

Todas las mediciones se realizaron durante la mañana (entre 10:00 y 12:00 hrs.). A cada participante se le entregaron indicaciones sobre sueño, consumo de alcohol y bebidas energizantes, para el día previo a la evaluación. Todos los participantes declararon no consumir habitualmente drogas.

Análisis de datos

Para el registro y análisis de datos del electroencefalograma se utilizó el programa Matlab con la herramienta EEGLAB. Posteriormente se calcularon los índices de Hurst cada un segundo de registro, obteniendo 120 índices de H (el período de ojos cerrados dura 120 segundos) y luego se obtuvo el promedio de estos 120 valores. Esto se realizó para cada uno de los seis electrodos (AF3, AF4, T7, T8, O1 y O2) de cada sujeto evaluado. Una vez determinadas las medias de los índices H se utilizó el programa estadístico SPSS 24.0 para Windows. La prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS) entregó una distribución normal para cada conjunto de datos analizados ($p > .05$) razón por la cual se procedió a utilizar estadística paramétrica. Para comparar la actividad cerebral entre cada electrodo antes y después de la intervención con ejercicio físico se utilizaron pruebas t para muestras relacionadas. Se consideraron significativos valores $p < .05$.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados de una intervención de ejercicio físico sobre la actividad no lineal de las ondas delta, theta, alfa, beta y gamma del cerebro en estado basal.

Ondas delta

En la figura 2 se observa un ejemplo de los índices de

Hurst (H) de la onda delta pre y post-intervención del electrodo de la región prefrontal izquierda (AF3) y derecha (AF4) de los 13 sujetos evaluados mientras permanecían sentados con los ojos cerrados. En AF3 solo el sujeto seis del grupo control mostró modificaciones neurofisiológicas de la onda delta entre la primera y segunda medición ($x_1 = .951 \pm .052$; $x_2 = .930 \pm .058$; $p = .005$; $d = .36$). En el grupo experimental el sujeto 10 ($x_1 = .981 \pm .037$; $x_2 = .931 \pm .055$; $p = .000$; $d = .91$), sujeto 11 ($x_1 = .910 \pm .056$; $x_2 = .936 \pm .058$; $p = .004$; $d = .45$) y sujeto 13 ($x_1 = .967 \pm .041$; $x_2 = .943 \pm .058$; $p = .01$; $d = .41$) presentaron modificaciones tras el ejercicio físico. En AF4 el grupo control mostró diferencias en el sujeto 1 ($x_1 = .941 \pm .056$; $x_2 = .956 \pm .046$; $p = .032$; $d = .33$), sujeto 2 ($x_1 = .915 \pm .066$; $x_2 = .939 \pm .061$; $p = .005$; $d = .39$) y sujeto 5 ($x_1 = .965 \pm .051$; $x_2 = .946 \pm .056$; $p = .01$; $d = .34$). En el grupo experimental el sujeto 10 ($x_1 = .955 \pm .054$; $x_2 = .931 \pm .059$; $p = .012$; $d = .41$), sujeto 11 ($x_1 = .915 \pm .055$; $x_2 = .947 \pm .055$; $p = .000$; $d = .58$) y sujeto 13 ($x_1 = .910 \pm .054$; $x_2 = .945 \pm .052$; $p = .001$; $d = .67$) presentaron diferencias tras la intervención.

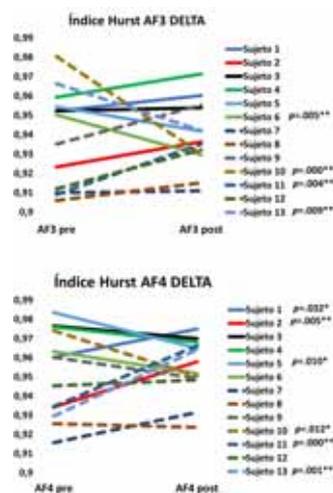


Figura 2. Índices de Hurst de la onda delta pre y post-intervención de la región prefrontal izquierda (AF3) y derecha (AF4). Los seis primeros sujetos representados con líneas continuas corresponden a los controles y los siete restantes, representados con líneas discontinuas, corresponden a los experimentales.

En la tabla 1 se muestran las medias, desviaciones estándar y valor p de las pruebas t para muestras relacionadas donde se obtuvieron diferencias significativas al comparar los índices de Hurst de las ondas delta entre la primera y segunda medición. El sujeto 1 del grupo control presentó una diferencia significativa grande en la región temporal izquierda ($d = .81$), en la región temporal derecha ($d = .76$) y en la región occipital derecha ($d = .77$). Los demás sujetos del grupo control presentan diferencias medianas, pequeñas o no presentan diferencias entre las dos mediciones realizadas. El sujeto 7 del grupo experimental presentó una diferencia significativa grande en la región temporal derecha tras el ejercicio físico ($d = .94$), misma situación ocurrida en la región occipital derecha ($d = 1.06$). El sujeto 10 también presenta una diferencia importante en la región occipital derecha ($d = .80$). Los demás sujetos del grupo experimental presentan diferencias medianas, pequeñas o no presentan diferencias entre las mediciones pre y post intervención.

Ondas theta

En la figura 3 se observan los índices de Hurst (H) de la onda theta pre y post-intervención de la región prefrontal

Tabla 1
Regiones temporales y occipitales donde los índices H de las ondas delta presentaron variaciones entre la primera y segunda medición.

			pre	post	p	d
T7	Control	Sujeto 1	.939±.056	.974±.043	.000**	.81
		Sujeto 5	.967±.049	.948±.057	.010*	.33
	Experimental	Sujeto 7	.915±.058	.940±.060	.022*	.42
		Sujeto 10	.991±.035	.952±.058	.000**	.67
		Sujeto 11	.918±.055	.943±.053	.001**	.47
T8	Control	Sujeto 1	.928±.053	.966±.050	.000**	.76
		Sujeto 5	.963±.049	.948±.052	.032*	.29
	Experimental	Sujeto 7	.849±.064	.907±.062	.000**	.94
		Sujeto 9	.946±.049	.928±.062	.025*	.29
		Sujeto 11	.900±.063	.937±.060	.000**	.62
O1	Control	Sujeto 1	.941±.051	.956±.046	.030*	.33
		Sujeto 2	.927±.054	.947±.058	.007**	.34
		Sujeto 5	.958±.049	.942±.061	.019*	.26
O2	Control	Sujeto 1	.927±.063	.960±.043	.000**	.77
		Sujeto 5	.963±.041	.946±.057	.014*	.30
		Sujeto 6	.958±.052	.931±.058	.001**	.47
Experimental	Sujeto 7	.886±.070	.936±.047	.000**	1.06	
	Sujeto 9	.962±.048	.947±.057	.018*	.26	
	Sujeto 10	.958±.051	.910±.060	.000**	.80	
	Sujeto 11	.910±.053	.936±.059	.003**	.44	

*Diferencia significativa al nivel .05

**Diferencia significativa al nivel .01

T7= temporal izquierdo; T8= temporal derecho; O1=occipital izquierdo; O2=occipital derecho; d= tamaño del efecto

izquierda (AF3) de los 13 sujetos evaluados mientras permanecían sentados con los ojos cerrados. En el grupo control el sujeto 1 ($x_1=.546±.045$; $x_2=.523±.049$; $p=.000$; $d=.47$) y sujeto 4 ($x_1=.516±.058$; $x_2=.562±.078$; $p=.000$; $d=.60$) mostraron modificaciones neurofisiológicas de la onda theta entre la primera y segunda medición. En el grupo experimental el sujeto 8 ($x_1=.519±.044$; $x_2=.548±.044$; $p=.000$; $d=.66$), sujeto 11 ($x_1=.515±.044$; $x_2=.536±.047$; $p=.001$; $d=.45$) y sujeto 12 ($x_1=.569±.047$; $x_2=.549±.045$; $p=.007$; $d=.44$) presentaron modificaciones tras el ejercicio físico. El grupo control reveló modificaciones en dos sujetos (33,3%) y el grupo experimental lo hizo en tres de ellos (42,9%).

La región prefrontal derecha (AF4) mostró modificaciones de los índices H de las ondas theta en el sujeto 1 ($x_1=.543±.043$; $x_2=.567±.041$; $p=.000$; $d=.59$) y sujeto 5 ($x_1=.552±.062$; $x_2=.538±.044$; $p=.034$; $d=.32$) del grupo control. Del grupo experimental el sujeto 8 ($x_1=.519±.044$; $x_2=.545±.049$; $p=.001$; $d=.53$), sujeto 11 ($x_1=.516±.048$; $x_2=.533±.046$; $p=.008$; $d=.37$) y sujeto 13 ($x_1=.528±.048$; $x_2=.497±.047$; $p=.000$; $d=.66$) presentaron modificaciones tras el ejercicio físico. El grupo control reveló modificaciones en dos sujetos (33,3%) y el grupo experimental en tres de ellos (42,9%).

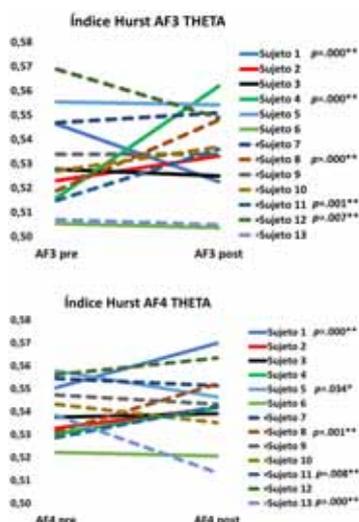


Figura 3. Índices de Hurst de la onda theta pre y post-intervención. Los seis primeros sujetos representados con líneas continuas corresponden a los controles y los siete restantes, representados con líneas discontinuas, corresponden a los experimentales.

En la tabla 2 se muestran las medias, desviaciones estándar y valor p de las pruebas t para muestras relacionadas donde se obtuvieron diferencias significativas al comparar los índices de Hurst de las ondas theta entre la primera y segunda medición. Solo el sujeto 8 del grupo experimental presenta diferencias significativas importantes en la región occipital izquierda ($d=.73$) y en la región occipital derecha ($d=.72$) tras el ejercicio físico. Los demás sujetos del grupo control y experimental presentan diferencias medianas, pequeñas o no presentan diferencias entre las dos mediciones realizadas.

Tabla 2
Regiones temporales y occipitales donde los índices H de las ondas theta presentaron variaciones entre la primera y segunda medición.

			pre	post	p	d
T7	Control	Sujeto 4	.538±.039	.560±.068	.025*	.32
		Sujeto 7	.545±.044	.559±.042	.002**	.33
	Experimental	Sujeto 8	.544±.045	.565±.041	.000**	.51
		Sujeto 12	.566±.043	.590±.058	.003**	.41
		Sujeto 13	.529±.042	.508±.052	.003**	.40
T8	Control	Sujeto 1	.537±.038	.551±.048	.016*	.29
		Sujeto 4	.534±.043	.560±.079	.031*	.33
	Experimental	Sujeto 10	.553±.045	.537±.048	.011*	.33
O1	Control	Sujeto 10	.525±.045	.511±.047	.035*	.30
		Sujeto 1	.542±.048	.518±.046	.000**	.52
		Sujeto 2	.524±.052	.553±.064	.000**	.45
Experimental	Sujeto 5	.539±.060	.556±.040	.012*	.43	
	Sujeto 7	.542±.045	.528±.036	.027*	.39	
	Sujeto 8	.524±.050	.554±.041	.000**	.73	
	Sujeto 12	.572±.051	.548±.046	.000**	.52	
O2	Control	Sujeto 1	.531±.046	.517±.047	.019*	.30
		Sujeto 5	.539±.061	.554±.039	.000**	.38
	Experimental	Sujeto 7	.525±.051	.545±.044	.002**	.45
		Sujeto 8	.529±.049	.562±.046	.000**	.72
Sujeto 11	.521±.045	.536±.042	.023*	.36		

*Diferencia significativa al nivel .05

**Diferencia significativa al nivel .01

T7= temporal izquierdo; T8= temporal derecho; O1=occipital izquierdo; O2=occipital derecho; d= tamaño del efecto

Ondas alfa

En la figura 4 se observan los índices de Hurst (H) de la onda alfa pre y post-intervención de la región prefrontal izquierda (AF3) de los 13 sujetos evaluados mientras permanecían sentados con los ojos cerrados. En el grupo control solo el sujeto 4 ($x_1=.372±.036$; $x_2=.386±.053$; $p=.024$; $d=.26$) mostró modificaciones neurofisiológicas de la onda alfa entre la primera y segunda medición. En el grupo experimental el sujeto 11 ($x_1=.342±.039$; $x_2=.362±.051$; $p=.001$; $d=.39$) y sujeto 13 ($x_1=.351±.044$; $x_2=.372±.051$; $p=.001$; $d=.41$) presentaron modificaciones tras el ejercicio físico. El grupo control reveló modificaciones en un sujeto (16,7%) y el grupo experimental lo hizo en dos de ellos (28,6%).

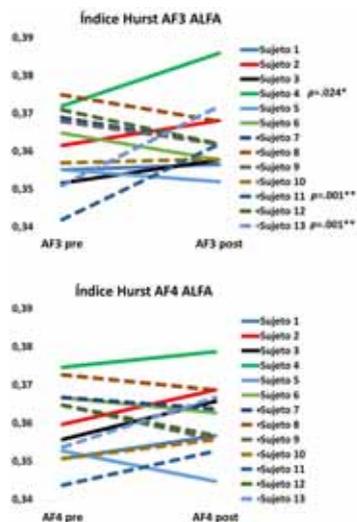


Figura 4. Índices de Hurst de la onda alfa pre y post-intervención. Los seis primeros sujetos representados con líneas continuas corresponden a los controles y los siete restantes, representados con líneas discontinuas, corresponden a los experimentales.

La región prefrontal derecha (AF4) no mostró modificaciones de los índices H de las ondas theta en ningún sujeto.

En la tabla 3 se muestran las medias, desviaciones estándar y valor *p* de las pruebas t para muestras relacionadas donde se obtuvieron diferencias significativas al comparar los índices de Hurst de las ondas alfa entre la primera y segunda medición. Ningún sujeto presentó una diferencia significativa grande entre ambas mediciones. Los que presentaron diferencias significativas fueron medianas o pequeñas, tanto en el grupo control como el experimental.

Tabla 3
Regiones temporales y occipitales donde los índices H de las ondas alfa presentaron variaciones entre la primera y segunda medición.

			pre	post	<i>p</i>	<i>d</i>
T7	Control	Sujeto 4	.371±.043	.388±.066	.027*	.26
		Sujeto 9	.402±.049	.369±.049	.000**	.67
	Experimental	Sujeto 13	.361±.049	.377±.054	.018*	.30
T8	Control		No aplica			
	Experimental	Sujeto 9	.366±.051	.351±.045	.010*	.33
		Sujeto 12	.382±.052	.362±.046	.001**	.43
		Sujeto 13	.364±.048	.375±.049	.048*	.22
O1	Control	Sujeto 2	.361±.054	.379±.043	.003**	.42
		Sujeto 9	.355±.052	.336±.041	.002**	.46
	Experimental	Sujeto 10	.351±.043	.335±.045	.011*	.36
		Sujeto 12	.376±.045	.363±.042	.033*	.31
O2	Control		No aplica			
	Experimental	Sujeto 9	.371±.058	.343±.055	.001**	.51
		Sujeto 11	.339±.047	.361±.047	.001**	.47
		Sujeto 12	.375±.045	.357±.044	.002**	.41

*Diferencia significativa al nivel .05

**Diferencia significativa al nivel .01

T7= temporal izquierdo; T8= temporal derecho; O1=occipital izquierdo; O2=occipital derecho; *d*= tamaño del efecto

Ondas beta

En la figura 5 se observa un ejemplo de los índices de Hurst (H) de la onda delta pre y post-intervención del electrodo de la región prefrontal izquierda (AF3) y derecha (AF4) de los 13 sujetos evaluados mientras permanecían sentados con los ojos cerrados. En AF3 solo el sujeto 2 del grupo control mostró modificaciones neurofisiológicas de la onda beta entre la primera y segunda medición ($x_1=.264±.037$; $x_2=.273±.037$; $p=.036$; $d=.25$). En el grupo experimental el sujeto 10 ($x_1=.280±.038$; $x_2=.298±.040$; $p=.005$; $d=.45$) y sujeto 13 ($x_1=.277±.038$; $x_2=.261±.032$; $p=.011$; $d=.50$) presentaron modificaciones tras el ejercicio físico. El grupo control reveló modificaciones en un sujeto (16,7%) y el grupo experimental lo hizo en dos de ellos (28,6%).

En AF4 el grupo control mostró diferencias en el sujeto 2 ($x_1=.262±.040$; $x_2=.272±.041$; $p=.049$; $d=.20$), sujeto 3 ($x_1=.276±.039$; $x_2=.289±.049$; $p=.045$; $d=.27$) y sujeto 4

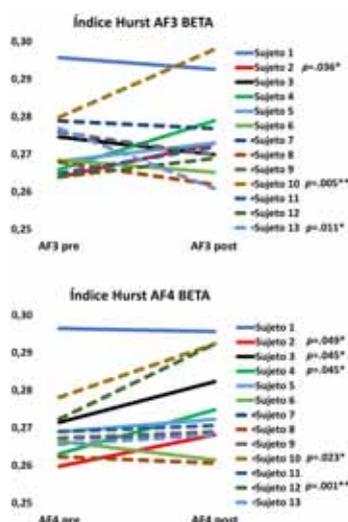


Figura 5. Índices de Hurst de la onda beta pre y post-intervención. Los seis primeros sujetos representados con líneas continuas corresponden a los controles y los siete restantes, representados con líneas discontinuas, corresponden a los experimentales.

($x_1=.266±.037$; $x_2=.280±.039$; $p=.045$; $d=.36$). En el grupo experimental el sujeto 10 ($x_1=.284±.040$; $x_2=.301±.042$; $p=.023$; $d=.40$) y el sujeto 12 ($x_1=.277±.044$; $x_2=.301±.039$; $p=.001$; $d=.62$) presentaron diferencias tras la intervención. El grupo control reveló modificaciones en tres sujetos (50,0%) y el grupo experimental lo hizo en dos de ellos (28,6%).

En la tabla 4 se muestran las medias, desviaciones estándar y valor *p* de las pruebas t para muestras relacionadas donde se obtuvieron diferencias significativas al comparar los índices de Hurst de las ondas delta entre la primera y segunda medición. El sujeto 1 del grupo control presentó una diferencia significativa grande en la región temporal izquierda ($d=2.26$), el sujeto 2 presenta una diferencia importante en la región occipital izquierda ($d=1.96$) y el sujeto 6 en la región temporal izquierda ($d=.88$). Los demás sujetos del grupo control presentan diferencias medianas, pequeñas o no presentan diferencias entre las dos mediciones realizadas. En el grupo experimental los sujetos 7, 8, 9, 11, 12 y 13 presentaron una diferencia significativa grande en la región temporal derecha tras el ejercicio físico, misma situación ocurrida en la región temporal derecha con el sujeto 12 ($d=2.33$). En la región occipital derecha el sujeto 12 presenta una diferencia significativa grande tras la intervención ($d=1.36$).

Tabla 4
Regiones temporales y occipitales donde los índices H de las ondas beta presentaron variaciones entre la primera y segunda medición.

			pre	post	<i>p</i>	<i>d</i>
T7	Control	Sujeto 1	.377±.047	.289±.039	.000**	2.26
		Sujeto 6	.295±.040	.266±.033	.000**	.88
	Experimental	Sujeto 7	.274±.032	.414±.080	.000**	1.75
		Sujeto 8	.362±.053	.240±.033	.000**	3.70
		Sujeto 9	.302±.053	.259±.046	.000**	.93
		Sujeto 11	.358±.051	.288±.044	.000**	1.59
		Sujeto 12	.406±.062	.477±.064	.000**	1.11
	Sujeto 13	.252±.032	.348±.053	.000**	1.81	
T8	Control		No aplica			
	Experimental	Sujeto 2	.261±.032	.269±.037	.037*	.22
		Sujeto 12	.390±.062	.299±.039	.000**	2.33
		Sujeto 13	.280±.037	.266±.036	.040*	.39
O1	Control	Sujeto 2	.280±.043	.423±.073	.000**	1.96
		Sujeto 5	.264±.036	.279±.036	.006**	.42
	Experimental	Sujeto 8	.268±.036	.254±.031	.001**	.45
		Sujeto 12	.291±.059	.271±.037	.010*	.54
O2	Control		No aplica			
	Experimental	Sujeto 1	.284±.035	.297±.043	.019*	.68
		Sujeto 7	.262±.032	.288±.040	.000**	.65
		Sujeto 11	.268±.035	.281±.039	.016*	.33
		Sujeto 12	.332±.047	.279±.039	.000**	1.36

*Diferencia significativa al nivel .05

**Diferencia significativa al nivel .01

T7= temporal izquierdo; T8= temporal derecho; O1=occipital izquierdo; O2=occipital derecho; *d*= tamaño del efecto

Ondas gamma

En la figura 6 se observan los índices de Hurst (H) de la onda gamma pre y post-intervención de la región prefrontal izquierda (AF3) de los 13 sujetos evaluados mientras permanecían sentados con los ojos cerrados. En el grupo control el sujeto 1 ($x_1=.262±.047$; $x_2=.224±.041$; $p=.000$; $d=.93$), el sujeto 3 ($x_1=.226±.040$; $x_2=.249±.049$; $p=.001$; $d=.47$), el sujeto 4 ($x_1=.221±.038$; $x_2=.372±.072$; $p=.000$; $d=2.10$), el sujeto 5 ($x_1=.260±.050$; $x_2=.240±.043$; $p=.001$; $d=.47$) y el sujeto 6 ($x_1=.241±.045$; $x_2=.258±.050$; $p=.003$; $d=.34$) mostraron modificaciones neurofisiológicas de la onda gamma entre la primera y segunda medición. En el grupo experimental el sujeto 8 ($x_1=.260±.047$; $x_2=.192±.035$; $p=.000$; $d=1.94$), sujeto 9 ($x_1=.226±.037$; $x_2=.241±.046$; $p=.003$; $d=.33$), el sujeto 10 ($x_1=.234±.040$; $x_2=.264±.054$; $p=.000$; $d=.56$) y el sujeto 12 ($x_1=.244±.047$; $x_2=.342±.066$; $p=.000$; $d=1.48$) presentaron modificaciones tras el ejercicio físico. El grupo control reveló modificaciones en cinco sujetos (83,3%) y el grupo experimental lo hizo en cuatro de ellos (57,1%).

La región prefrontal derecha (AF4) mostró modificacio-

nes de los índices H de las ondas gamma en el sujeto 1 ($x_1=.275\pm.054$; $x_2=.235\pm.042$; $p=.000$; $d=.95$), el sujeto 2 ($x_1=.246\pm.046$; $x_2=.282\pm.061$; $p=.000$; $d=.59$), el sujeto 3 ($x_1=.221\pm.036$; $x_2=.401\pm.077$; $p=.000$; $d=2.34$), el sujeto 4 ($x_1=.218\pm.047$; $x_2=.322\pm.068$; $p=.000$; $d=1.53$), el sujeto 5 ($x_1=.270\pm.051$; $x_2=.311\pm.056$; $p=.001$; $d=.73$) y el sujeto 6 ($x_1=.295\pm.062$; $x_2=.234\pm.045$; $p=.000$; $d=1.36$) del grupo control. Del grupo experimental el sujeto 7 ($x_1=.263\pm.049$; $x_2=.250\pm.046$; $p=.037$; $d=.28$), el sujeto 8 ($x_1=.328\pm.063$; $x_2=.191\pm.037$; $p=.000$; $d=3.70$), el sujeto 9 ($x_1=.236\pm.039$; $x_2=.310\pm.054$; $p=.000$; $d=1.37$) y el sujeto 12 ($x_1=.269\pm.053$; $x_2=.428\pm.083$; $p=.000$; $d=1.92$) presentaron modificaciones tras el ejercicio físico. El grupo control reveló modificaciones en seis sujetos (100,0%) y el grupo experimental en cuatro de ellos (57,1%).

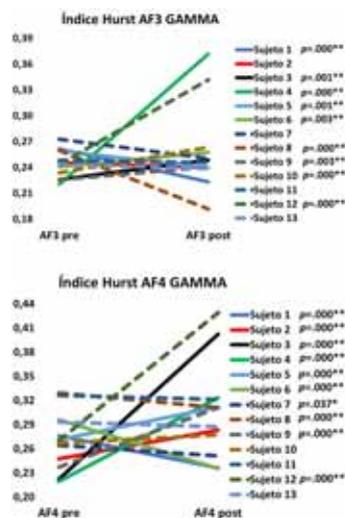


Figura 6. Índices de Hurst de la onda gamma pre y post-intervención. Los seis primeros sujetos representados con líneas continuas corresponden a los controles y los siete restantes, representados con líneas discontinuas, corresponden a los experimentales.

Tabla 5
Regiones temporales y occipitales donde los índices H de las ondas gamma presentaron variaciones entre la primera y segunda medición.

			pre	post	p	d		
T7	Control	Sujeto 4	.217±.038	.247±.049	.000**	.61		
		Sujeto 5	.306±.057	.239±.046	.000*	1.46		
		Sujeto 6	.232±.040	.347±.073	.000*	1.58		
		Experimental	Sujeto 7	.234±.051	.280±.052	.000**	.88	
			Sujeto 8	.303±.055	.201±.036	.000**	2.83	
			Sujeto 9	.249±.049	.206±.036	.000**	1.19	
	Experimental	Sujeto 11	.375±.068	.336±.067	.000**	.58		
		Sujeto 12	.442±.083	.308±.060	.000**	2.23		
		Sujeto 13	.277±.054	.216±.039	.000**	1.56		
		T8	Control	Sujeto 1	.288±.044	.297±.054	.000**	.17
	Sujeto 2			.204±.037	.291±.062	.000**	1.40	
	Sujeto 4			.238±.050	.339±.064	.000**	1.58	
	Sujeto 5			.294±.055	.341±.065	.000**	.72	
Sujeto 6	.281±.057			.309±.066	.001**	.42		
Experimental	Sujeto 8			.334±.062	.192±.035	.000**	4.06	
	Sujeto 9		.242±.039	.291±.062	.000**	.79		
	Sujeto 10		.341±.062	.270±.051	.000**	1.39		
	Sujeto 11		.281±.054	.309±.059	.003**	.47		
	O1		Control	Sujeto 1	.268±.050	.242±.039	.000**	.67
Sujeto 2				.262±.049	.301±.159	.013*	.25	
Sujeto 3		.202±.038		.215±.035	.013*	.37		
Sujeto 4		.229±.041		.299±.035	.000**	2.00		
Sujeto 6		.261±.053		.243±.047	.009*	.38		
Experimental		Sujeto 8		.243±.040	.183±.038	.000**	1.40	
		Sujeto 9	.219±.042	.241±.043	.001**	.51		
		Sujeto 10	.257±.049	.234±.049	.004**	.47		
		Sujeto 12	.227±.043	.241±.043	.006**	.33		
		O2	Control	Sujeto 2	.222±.043	.237±.045	.016*	.33
				Sujeto 3	.225±.042	.262±.050	.000**	.74
Sujeto 4				.216±.036	.380±.073	.000**	2.25	
Sujeto 5	.253±.052			.272±.057	.006**	.33		
Sujeto 6	.287±.051			.245±.044	.000**	.95		
Experimental	Sujeto 7			.227±.040	.242±.042	.023*	.36	
	Sujeto 8		.318±.052	.190±.037	.000**	3.46		
	Sujeto 11		.249±.053	.333±.062	.000**	1.35		
	Sujeto 12		.305±.068	.243±.047	.000**	1.32		
	Sujeto 13		.223±.039	.258±.047	.000**	.74		

*Diferencia significativa al nivel .05

**Diferencia significativa al nivel .01

T7=temporal izquierdo; T8=temporal derecho; O1=occipital izquierdo; O2=occipital derecho; d= tamaño del efecto

En la tabla 5 se muestran las medias, desviaciones estándar y valor p de las pruebas t para muestras relacionadas donde se obtuvieron diferencias significativas al comparar los índices de Hurst de las ondas gamma entre la primera y segunda medición. En la corteza temporal izquierda los sujetos 5 y 6 del grupo control y los sujetos 7, 8, 9, 12 y 13 presentaron diferencias significativas grandes entre ambas mediciones ($d>.80$). Esa misma situación ocurrió con los sujetos 2 y 4 del grupo control y los sujetos 8 y 10 del grupo experimental en la corteza temporal izquierda. En la corteza occipital izquierda el sujeto 4 del grupo control y el sujeto 8 del grupo experimental presentan una diferencia grande de los índices H entre las dos mediciones. Finalmente, esa misma situación ocurre en los sujetos 4 y 6 del grupo control y los sujetos 8, 11 y 12 del grupo experimental en la corteza occipital derecha.

Discusión

La literatura muestra efectos positivos del ejercicio físico sobre los resultados de pruebas de atención (Altenburg, Chinapaw & Singh, 2016; De Bruin, van del Zwan & Bögels, 2016; Iuliano, di Cagno, Aquino, Fiorilli, Mignogna, Calcagno, et al. 2015; Rosa, García & Carrillo, 2019; etc.), de memoria de trabajo (Hawkes, Manselle y Woollacott, 2014; LiuAmbrose, Nagamatsu, Graf, Beattie, Ashe y Handy, 2010; Maureira, Carvajal, Henríquez, Vega y Acuña, 2015; etc.) incluso una relación positiva entre práctica de ejercicio físico y el rendimiento académico (Haapala, Lintu, Eloranta, Venäläinen, Poikkeus, Ahonen, et al., 2018; Ishihara, Morita, Nakajima, Okita, Yamatsu y Sagawa, 2018; Maureira, Palma, Medina, Segueida, Valenzuela y Flores, 2019; Oliveira, Pizarro, Costa, Fernandes, Silva, Mota, et al., 2017; etc.). Lo anterior se explica por una mejora de la oxigenación y glucosa cerebral, neurogénesis y sinaptogénesis, sin embargo, la literatura muestra muy pocos trabajos asociando estos cambios a modificaciones en la actividad eléctrica cerebral. Por esta razón el presente trabajo tuvo como objetivo determinar los efectos del ejercicio físico sobre la actividad de las diversas ondas cerebrales en estado basal.

La actividad electroencefalográfica es la expresión integrada de un incontable número de procesos biofísicos que ocurren en el cerebro de manera simultánea, en diversos lugares, y en distintas escalas de tiempo. A través del EEG captamos el ruido eléctrico que hace la corteza cerebral mientras participa de una permanente red de procesamiento de señales cuya coherencia global, de alguna forma aún desconocida, configura la completitud de la experiencia que vivimos como seres humanos.

Intentar descifrar este lenguaje del cerebro ha conducido a la búsqueda de correlatos entre la experiencia y la variación de algunos parámetros cerebrales que pudiesen resultar en predictores específicos de algún aspecto importante, o de interés, respecto de la experiencia en cuestión. En nuestro caso, los estudios que relacionan esfuerzo físico y actividad cerebral postulan diversas conjeturas respecto de las diferencias encontradas, pero ninguna de ellas alcanza un status predictivo (Flores, et al., 2019; Maureira, et al., 2020). Es posible que nos encontremos aquí en el mar de las diferencias individuales, en donde cada cerebro aprende de ma-

nera diferente a resolver problemas que son comunes a la experiencia de un conjunto mayor de cerebros.

La actividad basal de referencia en la actividad cerebral incluye patrones o redes espaciotemporales denominadas redes en estado de reposo, donde el cerebro trabaja en un punto crítico de inestabilidad, donde la actividad puede variar por la experiencia, aprendizaje, edad e incluso algún síndrome (Deco, Jirsa y McIntosh, 2013). Estas actividades involuntarias podrían explicar la enorme variabilidad de la relación orden/caos en las ondas cerebrales entre la primera y segunda medición. Sin embargo, una situación interesante es que los índices H de la corteza temporal (izquierda y derecha) presentan variaciones en un mayor número de sujetos en el grupo experimental en relación con el control. Esta situación ocurre en las ondas delta (71,4% del grupo experimental contra el 33,3% del grupo control), en las ondas theta (71,4% contra un 33,3%), en las ondas alfa (42,9% contra un 16,7%) y en las ondas beta (85,7% contra un 50%). Sólo en las ondas gamma las variaciones de los valores H son similares entre el grupo experimental y control. La región temporal se asocia con la audición, la memoria, las emociones, el lenguaje y la capacidad matemática (Bear, et al., 2016) la cual podría sufrir modificaciones neurofisiológicas tras el ejercicio físico aún en estado basal, ya que el sujeto no se encuentra con la *mente en blanco*, y aunque que está despierto, con los ojos cerrados y descansando, esta situación no impide que su cerebro procese estímulos del entorno o imagine diversas situaciones. Una situación similar se observó en las ondas gamma de sujetos que resolvían una prueba de atención después de 30 minutos de ejercicio físico aeróbico (Maureira, et al., 2020).

Al igual que en otros trabajos, estos resultados muestran diferencias en los estimadores no-lineales del balance caos/orden de la región frontal, temporal y occipital del cerebro de los participantes. Pero los datos no muestran patrones o regularidades en la dirección individual de estos cambios. En algunos casos el índice de Hurst aumenta, indicando una tendencia hacia el orden, mientras que en otros disminuye con una orientación al caos. Por ejemplo, en la onda delta los valores H aumentan en la corteza frontal de 2 sujetos del grupo control y en otros 2 evaluados disminuye, situación similar a la ocurrida en el grupo experimental. Este hecho es similar en las demás ondas cerebrales.

Finalmente, en relación con la hipótesis planteada para esta investigación se rechaza, ya que se esperaba que la actividad eléctrica tuviera modificaciones tras la intervención de ejercicio físico, pero los resultados fueron totalmente aleatorios y no se encontraron patrones que pudiesen determinar si es por la intervención o por otros factores externos.

Conclusión

En cuanto a los objetivos planteados para esta investigación se cumplieron, ya que se mostró que los índices de Hurst de las ondas delta, theta, alfa., beta y gamma de la corteza prefrontal, temporal y occipital en estado basal aumentan y disminuyen, sin encontrar un patrón característico tras 30 minutos de ejercicio físico aeróbico. Esto muestra la enorme variabilidad de la actividad cerebral aun cuando el

sujeto se encuentra en estado de reposo, despierto con los ojos cerrados, lo cual cuestiona el concepto de *estado basal* como un comportamiento homogéneo de la actividad cerebral en un grupo de sujetos.

Dentro de las limitaciones de la presente investigación se puede mencionar la cantidad de sujetos que participaron en el experimento, si bien, se acostumbra a trabajar con números similares en estos estudios, esto impide que se pueda extrapolar los resultados a una población de características similares (sujetos varones y en promedio de edad 19 años). Finalmente, se hace necesario utilizar otras intervenciones experimentales variando el ejercicio físico en tiempo e intensidad, así como también investigar esta propuesta en muestras de sexo femenino y en diferente rango de edades.

Referencias

- Altenburg, T., Chinapaw, M. & Singh, A. (2016). Effects of one versus two bouts of moderate intensity physical activity on selective attention during a school morning in Dutch primary schoolchildren: A randomized controlled trial. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(10), 820-824. doi: 10.1016/j.jsams.2015.12.003.
- Bear, M., Connors, B. & Paradiso, M. (2016). *Neurociencia, la exploración del cerebro*. Madrid: Wolters Kluwer.
- De Bruin, E., van del Zwan, J. & Bögels, S. (2016). A RCT comparing daily mindfulness meditations, biofeedback exercises, and daily physical exercise on attention control, executive functioning, mindful awareness, self-compassion, and worrying in stressed young adults. *Mindfulness*, 7(5), 1182-1192. doi: 10.1007/s12671-016-0561-5.
- Deco, G., Jirsa, V. & McIntosh, A. (2013). Resting brains never rest: computational insights into potential cognitive architectures. *Trends in Neurosciences*, 36(5), 268-274. doi: 10.1016/j.tins.2013.03.001.
- Díaz, H., Maureira, F., Cohen, E., Córdova, F., Palominos, F., Otárola, J., et al. (2015) Individual differences in the order/chaos balance of the brain self-organization. *Annals of Data Science*, 2(4), 421-438.
- 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, 339-345.
- 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, 857-864.
- Engchuan, P., Wongsuphasawat, K. & Sittiprapaporn, P. (2017). Changes of EEG power spectra in bench press weight training exercise. *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 2017 14th International Conference on Phuket, Thailand. doi: 10.1109/ECTICon.2017.8096161
- 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,

- 390-396.
- Ftaiti, F., Kacem, A., Jaidane, N., Tabka, Z. & Dogui, M. (2010). Changes in EEG activity before and after exhaustive exercise in sedentary women in neutral and hot environments. *Applied Ergonomic*, 41(6), 806-811. doi: 10.1016/j.apergo.2010.01.008
- Fumoto, M., Oshima, T., Kamiya, K., Kikuchi, H., Seki, Y., Nakatani, Y. et al. (2010). Ventral prefrontal cortex and serotonergic system activation during pedaling exercise induces negative mood improvement and increased alpha band in EEG. *Behavioural Brain Research*, 213(1), 1-9. doi: 10.1016/j.bbr.2010.04.017
- Haapala, E., Lintu, N., Eloranta, A., Venäläinen, T., Poikkeus, A., Ahonen, T. et al. (2018). Mediating effects of motor performance, cardiorespiratory fitness, physical activity, and sedentary behaviour on the associations of adiposity and other cardiometabolic risk factors with academic achievement in children. *J Sports Sci*, 36, 1-8. doi: 10.1080/02640414.2018.1449562
- Hawkes, T., Manselle, W. & Woollacott, M. (2014). Cross-sectional comparison of executive attention function in normally aging long-term t'ai chi, meditation, and aerobic fitness practitioners versus sedentary adults. *J Altern Complement Med*, 20(3), 178-184. doi: 10.1089/acm.2013.0266
- Hübner, L., Godde, B. & Voelcker-Rehage, C. (2018). Older adults reveal enhanced task-related beta power decreases during a force modulation task. *Behav Brain Res*, 345, 104-113. doi: 10.1016/j.bbr.2018.02.028
- Ishihara, T., Morita, N., Nakajima, T., Okita, K., Yamatsu, K. & Sagawa, M. (2018). Direct and indirect relationships of physical fitness, weight status, and learning duration to academic performance in Japanese schoolchildren. *Eur J Sport Sci*, 18(2), 286-294. doi: 10.1080/17461391.2017.1409273
- Iuliano, E., di Cagno, A., Aquino, G., Fiorilli, G., Mignogna, P., Calcagno, G., et al. (2015). Effects of different types of physical activity on the cognitive functions and attention in older people: A randomized controlled study. *Experimental Gerontology*, 70, 105-110. doi: 10.1016/j.exger.2015.07.008
- Liu-Ambrose, T., Nagamatsu, L., Graf, P., Beattie, B., Ashe, M. & Handy, T. (2010). Resistance training and executive functions: a 12-month randomized controlled trial. *Arch Intern Med*, 170(2), 170-178. doi: 10.1001/archinternmed.2009.494
- Ludyga, S., Gronwald, T. & Hottenrott, K. (2016). Effects of high vs. low cadence training on cyclists' brain cortical activity during exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(4), 342-347. doi: 10.1016/j.jsams.2015.04.003
- Maureira, F. (2017). *¿Qué es la inteligencia?* Madrid: Bubok Publishing.
- Maureira, F. & Flores, E. (2016). *Principios de neuropsicobiología*. Valencia: Obrapropia.
- 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, 320-325.
- Maureira, F., Henríquez, F., Carvajal, D., Vega, J. & Acuña, C. (2015). Efectos del ejercicio físico agudo sobre la memoria visual de corto plazo en estudiantes universitarios. *Revista Ciencias de la Actividad Física UCM*, 16(1), 31-37.
- Maureira, F., Palma, E., Medina, R., Segueida, A., Valenzuela, L. y Flores, E. (2019). Incidencia de la antropometría, práctica de actividad física, estilos de aprendizaje, motivos, actitudes y estrategias de aprendizaje sobre el rendimiento académico de estudiantes de Santiago de Chile. *Retos*, 36, 497-502.
- Montero, F. & Moran, F. (1992). *Biofísica: procesos de auto-organización en biología*. Madrid: EUDEMA.
- Oliveira, T., Pizarro, A., Costa, M., Fernandes, L., Silva, G., Mota, J., et al. (2017). Cardiorespiratory fitness, but not physical activity, is associated with academic achievement in children and adolescents. *Ann Hum Biol*, 44(4), 309-315. doi: 10.1080/03014460.2017.1308010
- Palacios, L. (2002). Breve historia de la electroencefalografía. *Acta Neurol Colomb*, 18(2), 104-107.
- Pikovsky, A., Rosenblum, M. & Kurths, J. (2001). *Synchronization: a universal concept in nonlinear sciences*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rosa, A., García, E. & Carrillo, P. (2019). Relación entre capacidad aeróbica y el nivel de atención en escolares de primaria. *Retos*, 35, 36-41.

