

Desempeño neuropsicológico e indicadores de frecuencia, duración y tiempo de la sesión del ejercicio físico¹

Haney Aguirre-Loaiza²
Universidad Católica de Pereira (Colombia)

Jeison Parra³
Universidad de Barcelona (España)

Laura Jimena Bartolo⁴
Corporación Universitaria Empresarial Alexander von Humboldt, Armenia (Colombia)

María Alexandra Cardona⁵
Universidad de Manizales (Colombia)

Jaime Alberto Arenas⁶
Institución Universitaria de Envigado, Envigado (Colombia)

Recibido: 19/02/2018 Aceptado: 13/09/2018

Resumen

Objetivo. El ejercicio físico (EF) se relaciona con estructuras cerebrales y funcionamiento cognitivo; sin embargo, se desconocen indicadores de frecuencia, duración e intensidad del EF asociados a procesos neuropsicológicos. Estudiar la relación y las posibles diferencias entre las funciones ejecutivas (FE) y los indicadores del EF (frecuencia, duración y tiempo que lleva practicando EF). **Método.** Se seleccionó una muestra intencional de 30 sujetos físicamente activos, pareados por sexo ($M_{edad} = 22.9$, $DE = 8.5$). Se aplicó la totalidad de la Batería de Funciones Ejecutivas y Lóbulos Frontales (Banfe). **Resultados.** El desempeño neuropsicológico se relacionó con la frecuencia del EF en tareas que evalúan capacidades de control inhibitorio, seguimiento de límites y normas, memoria de trabajo visoespacial y anticipación de acciones de orden progresivo y regresivo. La duración y el tiempo de entrenamiento presentaron relación con la planeación, respeto por los límites y la inhibición. Aquellos participantes que se ejercitan más de seis veces por semana presentaron mejor desempeño en los aciertos y menor número de errores en el control inhibitorio. No se diferencia el desempeño neuropsicológico en función a indicadores y tipo de EF. **Conclusión.** Se confirma la hipótesis acerca de que el EF se asocia con procesos neuropsicológicos. Se abren posibles implicaciones científicas, educativas y clínicas.

Palabras clave. Neuropsicología, ejercicio físico, cognición, corteza cerebral.

¹ Este proyecto ha sido financiado por el programa de Psicología de la Corporación Universitaria Empresarial Alexander von Humboldt, Armenia, Colombia.

² Magíster en Psicología. Programa de Psicología Universidad Católica de Pereira, Av. de las Américas Cra. 21 No. 49-95. Teléfono: +57(6) 312 4000 Ext. 2002. Correo de correspondencia: haney.aguirre@ucp.edu.co

³ Ph.D(c) Behavior and Cognition.

⁴ Psicóloga.

⁵ Magíster en Neuropsicología.

⁶ Ph.D(c) en Estadística Multivariante Aplicada.

Neuropsychological Performance and Indicators of Frequency, Duration and Time of the Physical Exercise Session

Abstract

Objective. Physical Exercise (PE) is related to cerebral structures and cognitive functioning. Nevertheless, PE indicators of frequency, duration, intensity and neuropsychological processes are unknown. The goal was to study the relationship and the possible differences between executive functions (EF) and PE indicators (frequency, duration and time PE is being practiced). **Method.** We selected an intentional sample of thirty physically active subjects, paired by sex (M_{age} mean = 22.9, SD = 8.5). We used the whole assessment of Executive Functions and Frontal Lobes Battery (BANFE). **Results.** Neuropsychological performance was related to the PE frequency in tasks that assess inhibitory control, monitoring of limits and rules, visual-spatial working memory and predicting in reversal and progressive order actions. The duration and time of training showed relationship with planning and inhibition control. The participants who exercise more than six times a week showed a better performance and less number of inhibition control mistakes. Neuropsychological performance dependent on indicators and type of PE are not distinguished. **Conclusion.** The hypothesis is confirmed. There is a relationship between PE and neuropsychological processes with possible scientific, educational and clinical implications.

Keywords. Neuropsychology, physical exercise, cognition, cerebral cortex.

Desempenho neuropsicológico e indicadores de frequência, duração e tempo da sessão do exercício físico

Resumo

Escopo. O Exercício Físico (EF) está relacionado com estruturas cerebrais e funcionamento cognitivo. Porém são desconhecidos indicadores de frequência, duração e intensidade de EF associados aos processos neuropsicológicos. Estudar a relação e as possíveis diferenças entre as Funções Executivas (FE) e indicadores do EF (Frequência, Duração e Tempo que leva praticando EF). **Metodologia.** Foi selecionada uma amostra intencional de trinta sujeitos ativamente físicos, pareados por sexo ($M_{idade} = 22.9$, $DE = 8.5$). Foi aplicada a totalidade da Bateria de Funções Executivas e Lóbulos Frontais (BANFE). **Resultados.** O desempenho neuropsicológico esteve relacionado com a Frequência do EF em tarefas que avaliam capacidades de controle inibitório, seguimento de limites e normas, memória de trabalho visoespacial, e antecipação de ações de ordem progressiva e regressiva. A duração e o tempo de treinamento apresentaram relação com o planejamento, respeito pelos limites e a inibição. Aqueles participantes que se exercitaram mais de seis vezes por semana apresentaram melhor desempenho nos sucessos e menor número de erros no controle inibitório. Não houve diferença no desempenho neuropsicológico em função a indicadores e tipo de EF. **Conclusão.** Foi confirmada a hipótese de que o EF está associado com processos neuropsicológicos. Foram abertas possíveis implicações científicas, educativas e clínicas.

Palavras-chave. Neuropsicologia, exercício físico, cognição, córtex cerebral.

Introducción

El ejercicio físico (EF) se ha considerado una herramienta viable para promover el bienestar mental (Fox, 1999); en particular, la relación entre el EF, el cerebro y la cognición. Este tema ha sido objeto de un creciente número de investigaciones en las últimas décadas (Erickson, Hillman y Kramer, 2015; Prakash, Voss, Erickson y Kramer, 2015; Tomporowski y Taylor, 2013). Los resultados de estas investigaciones respaldan la existencia de la relación entre el EF y los procesos neurocognitivos (Erickson et al., 2015), en tres hallazgos: (a) estimula la plasticidad cerebral; (b) influye en la dinámica cerebral general y en la actividad cognitiva; y (c) impacta positivamente la cognición no solo a través de un mecanismo específico, sino también a través de diferentes vías de conectividad.

Al respecto, modelos de ratones han mostrado que la práctica de ejercicio físico genera aumentos neuroanatómicos en áreas del hipocampo, giro dentado, ventrículo lateral y cuerpo estriado y calloso (Cahill et al., 2015). Además, datos en humanos y en ratones han mostrado un efecto del EF sobre el factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF, por sus siglas en inglés) con funciones de neuroprotección en partes específicas del cerebro (Rasmussen et al., 2009).

De acuerdo con lo anterior, se ha planteado la hipótesis de que el EF se asocia con el funcionamiento saludable de los procesos neuropsicológicos, al prevenir y retrasar el deterioro cognitivo, además de reconocerse como una intervención no farmacéutica de fácil acceso (Bherer, Erickson y Liu-Ambrose, 2013; Busse, Gil, Santarém y Filho, 2009; Huang, Fang, Li y Chen, 2016). Estudios en humanos y en modelos animales sugieren que el EF mejora la cognición, dado que tiene efectos sobre las funciones de las redes cerebrales (Gajewski y Falkenstein, 2016; Kramer, Erickson y Colcombe, 2006). Estos hallazgos se han comprobado experimentalmente a través de técnicas de neuroimagen, como la resonancia magnética funcional (fMRI, por sus siglas en inglés) (Chaddock et al., 2012; Davis et al., 2011) y los potenciales evocados (Hillman et al., 2014).

La relación entre EF y cognición ha sido objeto de estudio a lo largo del ciclo vital. Por ejemplo, se han observado cambios cognitivos favorables en adultos sanos (Gajewski y Falkenstein, 2016; Voss

et al., 2015). En adultos mayores con condiciones neurodegenerativas, los resultados han sido alentadores (Lautenschlager et al., 2008; Prakash et al., 2007), ya que muestran efectos positivos en la prevención y manejo de la pérdida de memoria generada por la reducción de la estructura del hipocampo (Erickson et al., 2009). Por otro lado, en poblaciones infantiles se han confirmado relaciones directas y causales entre el EF, la cognición y el cerebro (Best, 2010; Davis et al., 2007; Hillman et al., 2009; Niet et al., 2016; Niet, Hartman, Smith y Visscher, 2014; Scherder et al., 2004); y se tiene información sobre beneficios en el rendimiento académico (Erickson et al., 2015) y el aprendizaje de estilos de vida saludables desde edades tempranas (Tomporowski y Taylor, 2013; Wójcicki y McAuley, 2014).

El EF se asocia con procesos cognitivos complejos, como las funciones ejecutivas (FE), la memoria de trabajo y los procesos atencionales. Las FE están vinculadas con la corteza frontal del cerebro humano (lóbulos frontales), y constituyen el centro de todas las conductas dirigidas a un objetivo, con capacidad de procesar, almacenar, inhibir, flexibilizar y cambiar información, tomar decisiones, evaluar riesgos y comportamientos al modificarse las condiciones ambientales del ser humano (Miyake et al., 2000; Tomporowski, Davis, Miller y Naglieri, 2008).

El EF aeróbico se asocia con una mayor activación de áreas cerebrales implicadas en las FE, como la corteza cingulada y la motora suplementaria (Wong et al., 2015). De hecho, debido a la complejidad y la conectividad estructural de las FE, se conocen redes que se expanden a zonas parietales (Niendam, Laird, Ray, Dean y Carter, 2013).

Si bien esta línea de investigación confirma el efecto positivo del EF sobre la cognición, mantiene varios interrogantes abiertos. Entre los temas de mayor interés se encuentra la relación dosis-respuesta del EF, la cantidad y el tipo de EF que producen mejor efecto sobre el cerebro y la cognición, el impacto de hacer EF bajo condiciones específicas, o de acuerdo con diferencias individuales como la experticia motora, incluso con el curso evolutivo de ciertas demencias neurodegenerativas (Bherer et al., 2013; Kramer et al., 2006).

En Colombia no se conocen estudios empíricos que traten indicadores específicos del

EF (frecuencia, duración de la sesión, intensidad, medidas fisiológicas, condicionales, etc.) y procesos cognitivos en muestras físicamente activas.

Sobre lo expuesto anteriormente, espacios institucionales y formales de educación superior cuentan con créditos deportivos (o asignaturas de deporte formativo), sin embargo, aún se desconoce la función del EF como posible modulador en las FE y los procesos cognitivos. Por consiguiente, la investigación realizada es una oportunidad para sugerir que el contexto académico es propicio para incentivar intervenciones del EF a partir de programas de educación física, deporte formativo o actividad física para la salud mental y física (Niet et al., 2014, 2016). Tales iniciativas han sido acogidas sobre todo en el nivel básico de educación, específicamente en escuelas y colegios (Best, 2010; Riggs, Chou, Spruijt-Metz y Pentz, 2010), pero no tanto a nivel universitario.

En coherencia con la hipótesis que supone la asociación entre el EF y los procesos cognitivos, la finalidad de la investigación es determinar la relación entre indicadores de frecuencia, duración y tiempo de entrenamiento del EF con las FE en una población académica físicamente activa.

Método

Diseño

La investigación corresponde a un estudio empírico con metodología cuantitativa, no experimental y de corte transversal (Kerlinger, 1988).

Participantes

A través de un diseño muestral no probabilístico, participaron 30 voluntarios adultos ($M_{edad} = 22.9$, $DE = 8.5$) seleccionados por sexo ($n = 15$ para cada género). La muestra la conformaron siete administrativos (23.3%) y 23 estudiantes (76.7%) de una universidad privada de la ciudad de Armenia, Colombia. El nivel de escolaridad de la muestra se dividió entre bachilleres ($n = 2$, 6.7%), técnicos o tecnólogos ($n = 6$, 20%), universitarios ($n = 17$, 56.7%) y profesionales con formación de posgrado ($n = 5$, 16.7%). Los participantes pertenecían a los tres niveles socioeconómicos (bajo = 33.3%; medio = 53.4% y alto = 13.3%).

Los criterios de inclusión fueron los siguientes: (a) tener una vinculación con la comunidad académica, (b) ser mayores de 18 años de edad, y (c) realizar actividad física aeróbica moderada con una duración de 150 minutos semanales, o bien de 75 minutos de actividad física aeróbica vigorosa cada semana, o una combinación equivalente de actividades moderadas y vigorosas, con una frecuencia de dos veces o más por semana, como estipula la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2010) para el grupo etario de 18 a 64 años. Los criterios de exclusión fueron: el reporte de alguna alteración física o antecedente neurológico o neuropsiquiátrico.

Instrumentos

Se ejecutó un protocolo a través de un cuestionario *ad hoc*, que exploraba lo siguiente: (a) información sociodemográfica (género, edad, nivel de escolaridad, estrato socioeconómico y rol en la comunidad académica), y (b) un autoinforme sobre el tipo de EF que practican, así como la frecuencia y duración que suelen emplear para llevar a cabo esta actividad. La información brindada por los participantes se categorizó posteriormente en EF: (a) combinado (vinculación de actividades en las que predominan la participación de dos o más capacidades físicas o condiciones (p. ej.: fuerza, velocidad, coordinación, etc.); (b) aeróbico; y (c) competitivo.

Para la evaluación de las FE, se empleó la Banfe, cuyo grupo normativo estuvo conformado por hispanoparlantes. Las propiedades psicométricas de confiabilidad a través del método interevaluadores se reportan como satisfactorias ($\alpha = 0.80$) (Florez, Ostrosky y Lozano, 2012). Las evidencias de validez convergente han sido descritas por cuenta de las tareas que componen las distintas pruebas (Florez et al., 2012). Además, las tareas neuropsicológicas contenidas en la Banfe han tenido evidencias de validez de criterio en múltiples estudios y compilaciones (Stroop, fluidez semántica, restas y sumas, torre de Hanoi, etc.) (Strauss, Sherman y Spreen, 2007).

La Banfe fue construida con base en un criterio anatomofuncional, que organiza sus tareas según las funciones cognitivas asociadas con tres divisiones de la corteza prefrontal:

1. Corteza orbitomedial, asociada con funciones de regulación emocional, comportamental y control inhibitorio, para responder a demandas contextuales. Se compone de las tareas de efecto Stroop, juego de cartas y laberintos.
2. Corteza prefrontal anterior, relacionada con el aprendizaje, control, organización y coordinación de actividades motrices complejas. Su funcionamiento se evalúa con las tareas de clasificaciones semánticas, selección de refranes y metamemoria.
3. Corteza dorsolateral, dividida en dos grandes categorías de funciones: una, asociada con la memoria de trabajo (MT), la solución de problemas, la planeación e inhibición de respuestas; y la otra, relacionada con las FE de toma de decisiones, regulación conductual, planeación y ejecución de pautas conductuales más complejas o elaboradas, integrando para ello, la asociación de diversas funciones, como la flexibilidad mental para adecuar el repertorio comportamental del sujeto a diversas exigencias endógenas y exógenas. Ambas funciones, MT y FE, se componen de ocho tareas: señalamiento autodirigido, MT visoespacial, ordenamiento alfabético de palabras, clasificación de cartas, laberintos, torre de Hanoi, suma y resta consecutivas y fluidez verbal.

Procedimiento

El protocolo de evaluación se aplicó en un laboratorio de pruebas o cámara de Gesell, según la institución en la que se recogieran los datos. La aplicación tuvo una duración aproximada de una hora y treinta minutos por cada participante. El proceso de evaluación estuvo a cargo de los investigadores, en compañía de estudiantes capacitados para tal fin. Antes de la firma del consentimiento informado, el participante fue notificado de los propósitos de la investigación. El procedimiento contó con el aval del Comité de Bioética de dicha institución, que veló por la integridad y la autonomía de los participantes, siguiendo los lineamientos detallados en el libro de Deontología y bioética del ejercicio de la psicología en Colombia (Colegio Colombiano de Psicólogos, 2016) y la Resolución 8430 del Ministerio de Salud de Colombia (1993). Además, se tuvieron en cuenta las disposiciones de las

declaraciones de la Declaración de Helsinki (World Medical Association, 2013). Los datos fueron recolectados en el segundo semestre de 2015.

Análisis de datos

La filtración, depuración y codificación de los datos fue ejecutada a partir de la matriz de datos en Excel para Windows. Seguidamente, se pasó al paquete estadístico SPSS v.20 para calcular medidas de tendencia central y de dispersión. Las pruebas de normalidad y homocedasticidad fueron comprobadas con la prueba de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente (Balluerka y Vergara, 2002). El contraste de hipótesis se efectuó con base en las pruebas paramétricas de *t* Student para muestras independientes, y Anova para más de dos muestras. Los coeficientes de correlación fueron estimados a partir de la *r* de Pearson, con valores de $p < 0.05$. Los puntajes directos fueron transformados en puntuaciones normalizadas, que ofrece la prueba Banfe, de acuerdo con los criterios de edad y años de escolaridad (Flores et al., 2012).

Resultados

El análisis de datos mostró diferencias considerables en los puntajes de las FE, según las variables sociodemográficas (figura 1). De hecho, el análisis de Anova y el post-hoc de Tukey-B indicaron que las personas de estratos bajos tuvieron un puntaje significativamente menor que los estratos medios y altos en las tareas de la corteza orbitomedial ($F[2, 27] = 3.35, p = 0.230$) (figura 1B). En cuanto a la variable de la edad, se encontraron diferencias favorables para los menores de 20 años en las tareas de la corteza frontal anterior ($F[2, 27] = 3.75, p = 0.378$) (figura 1C). El nivel de escolaridad señaló un patrón de comportamiento favorable para los participantes con estudios de posgrado y universitario en relación con las pruebas de la corteza frontal anterior ($F[3, 26] = 12.61, p = 0.000$), de la corteza prefrontal dorsolateral ($F[3, 26] = 4.06, p = 0.017$) y en todas las FE ($F[3, 26] = 3.94, p = 0.019$) (figura 1D). No se encontraron diferencias por sexo (figura 1A).

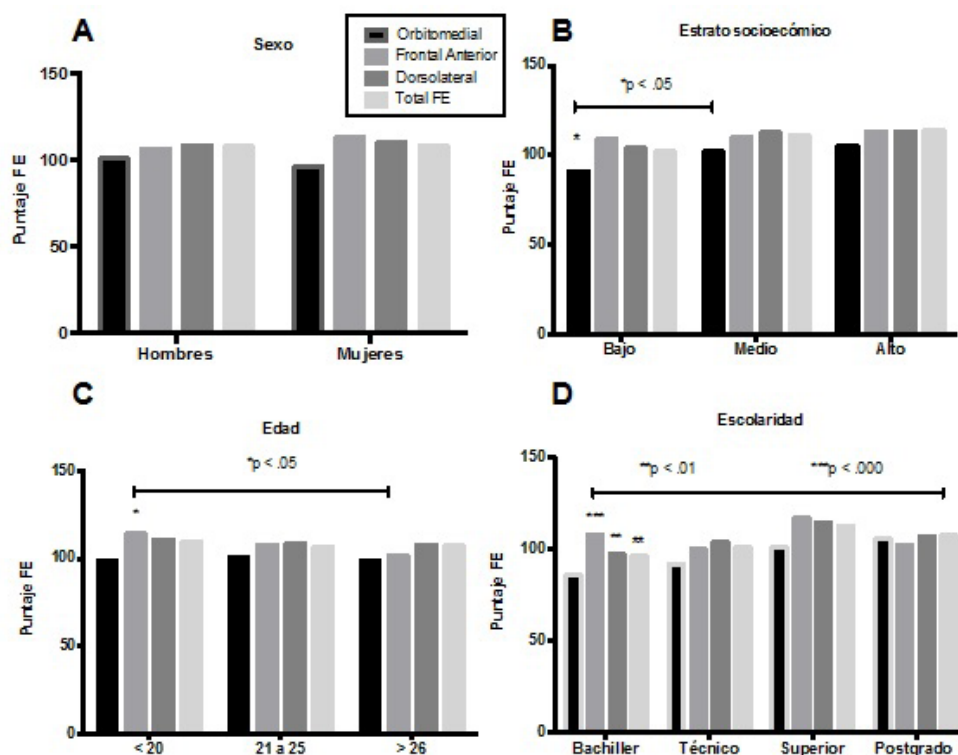


Figura 1. Desempeño de los participantes en las pruebas de FE de la Banfe. Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los análisis de relación, se encontró que los indicadores de frecuencia, duración y tiempo del EF se asocian con algunas tareas neuropsicológicas, tal como se detalla en la tabla 1.

El análisis de varianza señala que el comportamiento ejecutivo entre los subgrupos organizados por tipo de actividad física y los indicadores de EF fueron homogéneos (tabla 2).

Tabla 1
Coeficientes de correlación (de Pearson) entre las tareas neuropsicológicas y los indicadores de EF

Tareas neuropsicológicas	Indicadores de EF		
	<i>f</i>	Duración	Tiempo
Corteza orbitomedial			
Laberintos	0.40*	-0.15	0.04
Porcentaje de riesgo en juego de cartas	-0.20	-0.25	-0.35
Juego de cartas	-0.10	-0.09	-0.20
Stroop-A (errores)	0.24	0.03	0.17
Stroop-A (tiempo)	-0.06	0.01	-0.40*
Stroop-A	0.47**	-0.09	0.19
Stroop-B (errores)	-0.63**	-0.01	0.12
Stroop-B (tiempo)	-0.34	0.03	0.04
Stroop-B	-0.43*	0.09	0.13
Clasificación de cartas	-0.01	0.07	0.19

Tareas neuropsicológicas	Indicadores de EF		
	<i>f</i>	Duración	Tiempo
Corteza prefrontal anterior			
Clasificación semántica (categorías abstractas)	-0.03	-0.16	-0.21
Selección de refranes (tiempo)	-0.14	0.18	-0.05
Selección de refranes	0.37*	-0.13	-0.17
Errores negativos metamemoria	0.27	0.14	-0.23
Errores positivos metamemoria	-0.01	-0.26	-0.24
Corteza dorsolateral – MT			
Señalamiento dirigido (perseveraciones)	0.52**	0.09	0.05
Señalamiento dirigido (tiempo)	0.27	0.09	-0.24
Señalamiento dirigido (aciertos)	0.20	0.22	0.18
Resta consecutiva-A (tiempo)	0.15	0.06	0.09
Resta consecutiva-A (aciertos)	0.11	0.19	0.28
Resta consecutiva-B (tiempo)	0.21	0.20	0.12
Resta consecutiva-B (aciertos)	0.07	-0.07	0.21
Suma consecutiva (tiempo)	-0.22	0.32	0.04
Suma consecutiva (aciertos)	0.11	0.20	0.17
Ordenamiento alfabético (ensayo 1)	-0.19	-0.21	0.08
Ordenamiento alfabético (ensayo 2)	0.45*	-0.04	0.07
Ordenamiento alfabético (ensayo 3)	0.11	-0.27	-0.16
MT visoespacial	0.25	-0.14	-0.26
MT visoespacial (perseveraciones)	0.27	-0.04	-0.02
MT visoespacial (errores)	-0.25	-0.07	-0.21
Corteza dorsolateral – Funciones ejecutivas			
Laberintos planeación (sin salida)	-0.13	-0.36*	-0.10
Laberintos (tiempo)	0.23	0.21	-0.08
Clasificación de cartas (aciertos)	-0.12	0.06	-0.04
Clasificación de cartas (perseveraciones)	0.12	0.13	0.04
Clasificación de cartas (perseveraciones diferidas)	0.2	0.03	-0.29
Clasificación semántica (todas las categorías)	0.38*	0.10	-0.34
Clasificación semántica (categoría animales)	-0.14	0.25	0.21
Clasificación semántica (puntaje total)	0.20	-0.10	-0.30
Fluidez verbal (aciertos)	0.33	0.04	-0.16
Fluidez verbal (perseveraciones)	0.00	0.26	0.30
Torre de Hanoi 3 discos (movimientos)	0.40*	0.10	-0.05
Torre de Hanoi 3 discos (tiempo)	0.23	0.06	0.08
Torre de Hanoi 4 discos (movimientos)	0.26	-0.16	-0.21
Torre de Hanoi 4 discos (tiempo)	0.29	0.05	-0.32

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$. Fuente: elaboración propia.

Tabla 2
Comparación del desempeño frontal, según las variables de EF

Variable	Orbitomedial <i>M(DE)</i>	Prefrontal anterior <i>M(DE)</i>	Dorsolateral (MT + FE) <i>M(DE)</i>	Total FE <i>M(DE)</i>
Tipo de actividad física				
Combinados ^a (<i>n</i> = 18, 60%)	98.8(10.6)	112.0(10.1)	110.6(9.1)	108.6(9.2)
Aeróbicos ^b (<i>n</i> = 7, 23.3%)	99.2(9.8)	113.5(10.6)	116.0(7.6)	113.2(7.4)
Competitivos ^c (<i>n</i> = 5, 16.7%)	98.8(14.4)	104.7(8.8)	104.8(12.0)	104.8(12.7)
	(<i>F</i> = 0.00, <i>p</i> = 0.99)	(<i>F</i> = 1.76, <i>p</i> = 0.19)	(<i>F</i> = 1.87, <i>p</i> = 0.17)	(<i>F</i> = 0.95, <i>p</i> = 0.39)
<i>f</i> EF (veces x sem)				
2-3 (<i>n</i> = 15, 50%)	98.8(13.1)	109.2(10.6)	108.1(12.3)	107.2(12.0)
4-5 (<i>n</i> = 7, 23.3%)	100.8(7.1)	112.7(5.7)	113.71(7.0)	111.5(7.3)
6-7 (<i>n</i> = 8, 26.7%)	97.2(11.3)	110.1(12.7)	109.6(7.4)	107.3(8.3)
	(<i>F</i> = 0.18, <i>p</i> = 0.83)	(<i>F</i> = 0.26, <i>p</i> = 0.77)	(<i>F</i> = 0.71, <i>p</i> = 0.49)	(<i>F</i> = 0.47, <i>p</i> = 0.62)
Duración (horas)				
Una (<i>n</i> = 11, 36.7%)	100.8(11.2)	109.5(9.9)	110.0(9.8)	108.3(10.0)
Dos (<i>n</i> = 13, 43.3%)	95.92(10.1)	110.6 (9.8)	108.1(12.0)	106.6(11.3)
Tres o más (<i>n</i> = 6, 20.0%)	101.83(13.9)	111.0(12.7)	113.1(5.4)	111.6(7.5)
	(<i>F</i> = 0.80, <i>p</i> = 0.45)	(<i>F</i> = 0.04, <i>p</i> = 0.95)	(<i>F</i> = 0.48, <i>p</i> = 0.61)	(<i>F</i> = 0.49, <i>p</i> = 0.61)
Tiempo de entrenamiento (meses)				
< de 3 (<i>n</i> = 12, 40.0%)	99.4(12.7)	111.6(9.5)	110.5(9.5)	108.5(9.6)
4 - 7 (<i>n</i> = 11, 36.7%)	101.1(11.6)	113.6(8.5)	109.8(12.4)	109.1(11.7)
> 7 (<i>n</i> = 7, 23.3%)	94.4(7.5)	102.7(10.7)	108.7(8.3)	106.2(9.1)
	(<i>F</i> = 0.77, <i>p</i> = 0.47)	(<i>F</i> = 3.04, <i>p</i> = 0.06)	(<i>F</i> = 0.65, <i>p</i> = 0.93)	(<i>F</i> = 0.17, <i>p</i> = 0.84)
Total (todos)	98.9(11.2)	110.3(10.1)	109.8(10.1)	108.2(10.0)

^a EF que implica capacidades condicionales (fuerza, velocidad, coordinación, etc.); ^b EF en el que predominan mecanismos energéticos aeróbicos (caminar, trotar, nadar, montar en bicicleta, etc.); ^c EF que implica cierto nivel de competencia. En esta categoría fueron reportados únicamente deportes de conjunto, como fútbol, baloncesto, voleibol, etc. Fuente: elaboración propia.

Según la clasificación anatomofuncional de la Banfe, se encontró que la frecuencia del EF se relaciona con tareas en las tres cortezas cerebrales: (a) orbitomedial, laberintos ($r = 0.36, p < 0.05$), Stroop-A ($r = 0.46, p < 0.01$), errores de Stroop-B ($r = -0.63, p < 0.01$), Stroop-B ($r = -0.42, p < 0.05$); (b) prefrontal anterior, selección de refranes ($r = 0.36, p < 0.05$); (c) dorsolateral MT, señalamiento dirigido (perseveraciones) ($r = 0.32, p < 0.01$) y ordenamiento alfabético (ensayo 2) ($r = 0.44, p < 0.05$); y (d) dorsolateral-FE, clasificación semántica ($r = 0.37, p < 0.05$), torre de Hanoi tres discos (número de movimientos) ($r = 0.39, p < 0.05$).

El indicador de duración de la sesión de EF se relacionó con la tarea de laberintos planeación (sin salida) ($r = 0.36, p < 0.05$); mientras que el tiempo de EF únicamente se relacionó con Stroop-A ($r = 0.39, p < 0.05$).

En cuanto a la frecuencia de EF (categorizada en tres niveles 3, 4-5 y 6-7 veces por semana), se encontraron diferencias en el desempeño del control inhibitorio. Se observó que quienes entrenan más veces, puntuaron mejor en los aciertos de las tareas del Stroop, con menos errores en comparación con aquellos que lo hacen menos veces por semana (figuras 2B y 2D).

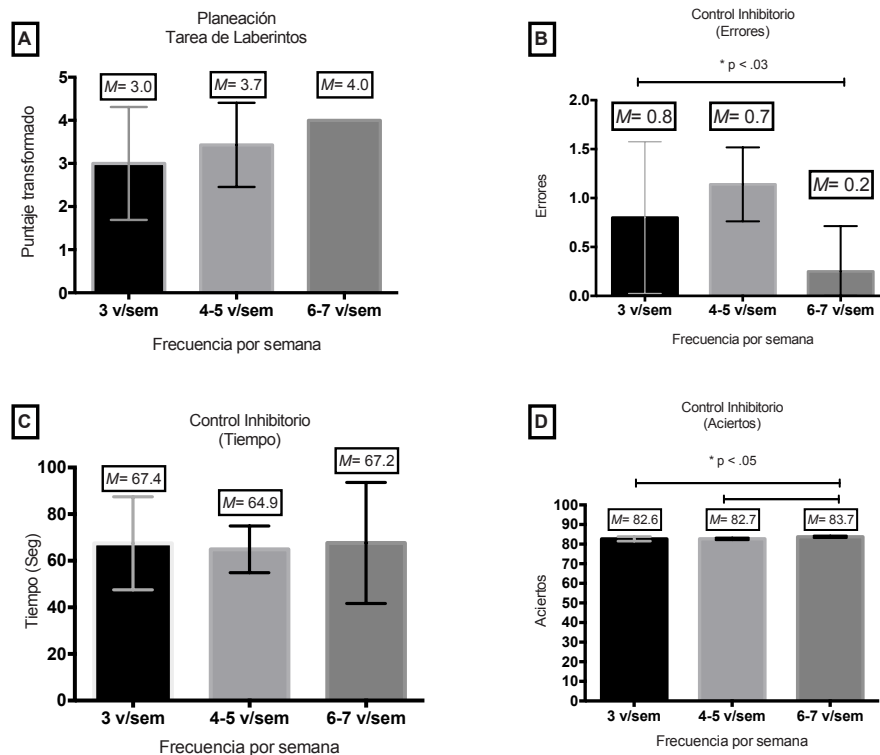


Figura 2. Desempeño en las tareas de Stroop y laberintos, en función de la frecuencia del EF.

Fuente: elaboración propia.

Discusión

Se ha documentado la asociación y los efectos de la práctica sistemática del EF sobre cambios en la dinámica cerebral y los procesos cognitivos (Erickson et al., 2015). El objetivo del trabajo sometió

a hipótesis la relación entre los indicadores de EF (frecuencia, duración y tiempo de entrenamiento) y las FE en una muestra universitaria físicamente activa.

Los datos describieron la relación significativa entre la frecuencia del EF y los procesos cognitivos,

como por ejemplo, una mejor capacidad del control inhibitorio (efecto Stroop), respeto por los límites (prueba de laberintos), MT visoespacial (prueba de señalamiento dirigido), manipulación y ordenamiento mental de información verbal contenida en la MT (prueba de ordenamiento alfabético), productividad y actitud abstracta (prueba de clasificación semántica) y anticipación secuenciada de acciones tanto progresivas como regresivas (prueba de torre de Hanoi).

También, quienes entrenan entre seis y siete veces por semana presentaron un mejor rendimiento en los aciertos de las tareas Stroop, comparados con aquellos que lo hacen tres veces por semana, e incluso fueron mejores que aquellos que se ejercitan entre cuatro y cinco veces a la semana.

Por otro lado, la duración se asoció específicamente con la anticipación o planeación sistemática de la conducta visoespacial (con las pruebas de laberintos y planeación sin salida), mientras el tiempo de entrenamiento se asoció con el control inhibitorio (prueba de Stroop). El análisis Anova describió que estos mismos indicadores y el tipo de EF no discriminan un comportamiento cognitivo diferente; en tanto, algunas variables sociodemográficas reportaron un mejor desempeño de FE, con puntajes favorables para estratos altos, menores de 20 años y nivel educativo superior y posgrado.

Recientes revisiones de estudios transversales y ensayos controlados son coherentes con los resultados encontrados en el presente trabajo, en el que se demuestra que el EF beneficia las FE (Gajewski y Falkenstein, 2016; Guiney y Machado, 2013), destacándose una particular sensibilidad del EF agudo sobre procesos inhibitorios (Jäger, Schmidt, Conzelmann y Roebbers, 2014).

En contextos escolares se ha observado la mejora del control inhibitorio (empleando la prueba Stroop) y MT verbal, posterior a una intervención de 22 semanas de ejercicio físico (Niet et al., 2016). En otros estudios se sugiere una relación directa con el rendimiento académico y la condición física (Niet et al., 2014); lo que de momento permite comprender y dar soporte a la hipótesis de la relación entre el EF y la cognición (Prakash et al., 2015). En conjunto, estos estudios y los hallazgos de este trabajo aportan al entendimiento del desempeño ejecutivo desde los efectos del EF.

La mayor parte de la evidencia científica revisada se ha construido en situaciones experimentales controladas y manipuladas en el laboratorio. Sin embargo, en ámbitos ecológicos escolares no se han demostrado los efectos del EF sobre las FE (Jäger, Schmidt, Conzelmann y Roebbers, 2015), particularmente, por las dificultades para establecer el valor de mediadores de EF sobre la cognición, dado que los datos que ofrece la literatura científica son confusos (Tompsonowski, McCullick, Pendleton y Pesce, 2014). Así, por ejemplo, algunos experimentos en ambientes naturales comprueban efectos del EF en las FE, pero de momento contradicen los resultados de las investigaciones adelantadas por Jäger et al. (2014) y Kubesch et al. (2009).

Otro aspecto importante para acotar es la difícil discriminación de las funciones cognitivas que subyacen la naturaleza multifacética de las tareas neuropsicológicas (Guiney y Machado, 2013). En general, la base empírica apoya los efectos positivos del EF sobre las FE, pero es fundamental considerar los vínculos entre dosis-respuesta de los programas de EF para futuros trabajos.

Los datos aquí encontrados contribuyen a mejorar la comprensión del probable papel modulador del EF sobre la cognición, especialmente, sobre procesos complejos como las FE. En ambientes escolares, tanto en niveles educativos básicos como superiores, se pueden promover programas de educación física o deporte formativo que aporten a estilos de vida saludables de las personas (Huang et al., 2016; Niet et al., 2016). Además, el carácter no invasivo y de bajo costo es prometedor en implicaciones tanto educativas como clínicas, puesto que fundamenta derroteros para la agenda de salud pública (Prakash et al., 2015).

El presente estudio es el primero en Colombia que somete la hipótesis de la relación del EF sobre procesos cognitivos, como las FE, en una muestra de estudiantes de educación superior. Los resultados no mostraron diferencias en el rendimiento ejecutivo de los participantes, según el tipo de EF que realizaran (ya fuera combinado, aeróbico o competitivo). Las posibles explicaciones pueden deberse a que el diseño metodológico limitó la discriminación con mayor exactitud y la clarificación de si estas variables pueden tener algún efecto. Frente a esto, se plantea que una estrategia con mayor control que reemplace el autoinforme permitiría esclarecer

los posibles efectos y grado de relación de tipos de EF aeróbicos, o la combinación de las capacidades condicionales (fuerza, velocidad, coordinación, etc.) y paralelamente.

Aunque no hubo diferencias estadísticas según el tipo de EF, tanto los puntajes en las tres áreas de corteza cerebral (orbitomedial, frontal anterior y dorsolateral) como el puntaje total de la Banfe, fueron mayores en los participantes que reportaron realizar actividades aeróbicas, en comparación con los sujetos que mencionaron practicar actividades combinadas o competitivas. Esta perspectiva coincide con investigaciones previas, lo que permite concluir que la modalidad aeróbica es la capacidad condicional que tiene mayor relación con la cognición y el funcionamiento saludable del cerebro (Guiney y Machado, 2013; Huang et al., 2016; Kramer et al., 2006; Niet et al., 2016). No obstante, la cuestión queda abierta y se asume como reto para futuras investigaciones identificar si existe algún efecto o relación entre el tipo de EF y los procesos cognitivos más específicos (Prakash et al., 2015), entre otros indicadores de intensidad y los tratados en este estudio.

Es necesario apuntar una serie de limitaciones y advertencias frente al presente trabajo. Si bien la evidencia es congruente con los resultados, la interpretación de los datos debe ser cautelosa, ya que la muestra fue pequeña y dificultó plantear generalizaciones. Por otro lado, los datos del tipo e indicadores de EF, obtenidos mediante autoinformes, pueden tener altos niveles de subjetividad. Asimismo, el alcance de la investigación fue relacional, y explicar los mecanismos del EF exige el control de variables para el que es necesario el desarrollo de diseños experimentales.

La configuración de nuevas hipótesis alimenta la línea de investigación sobre el EF en función del desempeño neuropsicológico. Por consiguiente, resulta importante estudiar programas de EF que combinen intervenciones multimodales (Prakash et al., 2015). Otro foco es esclarecer la discriminación de los posibles efectos del tipo de EF y la relación dosis-respuesta. La práctica de EF en espacios naturales y verdes (parques, senderos) parece asociarse con una mejor salud mental y cardiovascular (Pasanen, Tyrväinen y Korpela, 2014; Richardson, Pearce, Mitchell y Kingham, 2013), mientras que los espacios cerrados (salones, gimnasios, etc.) se asocian con una salud general; sin

embargo, es una hipótesis que carece de suficiente evidencia y es aún objeto de estudio (Pasanen et al., 2014).

Agradecimientos

A los estudiantes y a los participantes de la comunidad académica de la Corporación Universitaria Empresarial Alexander von Humboldt.

Referencias

- Balluerka, N. y Vergara, A. I. (2002). *Diseños de investigación experimental en psicología*. Madrid: Prentice Hall.
- Best, J. R. (2010). Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Developmental Review, 30*(4), 331-351. doi.org/10.1016/j.dr.2010.08.001
- Bherer, L., Erickson, K. I., & Liu-Ambrose, T. (2013). A Review of the Effects of Physical Activity and Exercise on Cognitive and Brain Functions in Older Adults. *Journal of Aging Research*, ID 657508. doi.org/10.1155/2013/657508
- Busse, A. L., Gil, G., Santarém, J. M., & Filho, W. J. (2009). Physical activity and cognition in the elderly: A review. *Dementia & Neuropsychologia, 3*(3), 204-208. doi.org/10.1590/S1980-57642009DN30300005
- Cahill, L. S., Steadman, P. E., Jones, C. E., Laliberté, C. L., Dazai, J., Lerch, J.P., ... Sled, J. G. (2015). MRI-detectable changes in mouse brain structure induced by voluntary exercise. *NeuroImage, 113*, 175-183. doi.org/10.1016/j.NEUROIMAGE.2015.03.036
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Voss, M. W., VanPatter, M., Pontifex, M.B., ... Kramer, A. F. (2012). A functional MRI investigation of the association between childhood aerobic fitness and neurocognitive control. *Biological Psychology, 89*(1), 260-268. doi.org/10.1016/j.biopsycho.2011.10.017
- Colegio Colombiano de Psicólogos. (2016). *Deontología y bioética del ejercicio de la psicología en Colombia*. Bogotá DC.: Manual Moderno.

- Colombia. Ministerio de Salud. (1993). Resolución 8430. *Normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud*. Bogotá DC. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/Ride/De/DIJ/RESOLUCION-8430-DE-1993.PDF>
- Davis, C., Tomporowski, P., Boyle, C. A., Waller, J. L., Miller, P., Naglieri, J., & Gregoski, M. (2007). Effects of aerobic exercise on overweight children's cognitive functioning: a randomized controlled trial. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 78(5), 510-519. doi.org/10.1080/02701367.2007.10599450
- Davis, C., Tomporowski, P. D., McDowell, J. E., Austin, B. P., Miller, P. H., Yanasak, N.E., ... Naglieri, J. A. (2011). Exercise improves executive function and achievement and alters brain activation in overweight children: a randomized, controlled trial. *Health Psychology*, 30(1), 91-98. doi.org/10.1037/a0021766
- Erickson, K. I., Hillman, C. H., & Kramer, A. F. (2015). Physical activity, brain, and cognition. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 4, 27-32. doi.org/10.1016/j.cobeha.2015.01.005
- Erickson, K. I., Prakash, R. S., Voss, M. W., Chaddock, L., Hu, L., Morris, K.S., ... Kramer, A. F. (2009). Aerobic fitness is associated with hippocampal volume in elderly humans. *Hippocampus*, 19(10), 1030-1039. doi.org/10.1002/hipo.20547
- Flores, J. C., Ostrosky, F. y Lozano, A. (2012). *BANFE - Batería Neuropsicológica de Funciones Ejecutivas y Lóbulos Frontales*. México DF: Manual Moderno.
- Fox, K. (1999). The influence of physical activity on mental well-being. *Public Health Nutrition*, 2(3A), 411-418. doi.org/10.1017/S1368980099000567
- Gajewski, P. D., & Falkenstein, M. (2016). Physical activity and neurocognitive functioning in aging - a condensed updated review. *European Review of Aging and Physical Activity*, 13(1), 1. doi.org/10.1186/s11556-016-0161-3
- Guiney, H., & Machado, L. (2013). Benefits of regular aerobic exercise for executive functioning in healthy populations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(1), 73-86. doi.org/10.3758/s13423-012-0345-4
- Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Castelli, D. M., Khan, N. A., Raine, L. B., Scudder, M.R., ... Kamijo, K. (2014). Effects of the FITKids Randomized Controlled Trial on Executive *Control and Brain Function*. *Pediatrics*, 134(4), e1063-1071. doi.org/10.1542/peds.2013-3219
- Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Castelli, D. M., Hall, E. E., & Kramer, A. F. (2009). The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*, 159(3), 1044-1054. doi.org/10.1016/j.neuroscience.2009.01.057
- Huang, P., Fang, R., Li, B.-Y., & Chen, S.-D. (2016). Exercise-Related Changes of Networks in Aging and Mild Cognitive Impairment Brain. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 8(Article 47), 1-11. doi.org/10.3389/fnagi.2016.00047
- Jäger, K., Schmidt, M., Conzelmann, A., & Roebers, C. M. (2014). Cognitive and physiological effects of an acute physical activity intervention in elementary school children. *Frontiers in Psychology*, 5(Article 1473), 1-11. doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01473
- Jäger, K., Schmidt, M., Conzelmann, A., & Roebers, C. M. (2015). The effects of qualitatively different acute physical activity interventions in real-world settings on executive functions in preadolescent children. *Mental Health and Physical Activity*, 9, 1-9. doi.org/10.1016/j.mhpa.2015.05.002
- Kerlinger, F. (1988). *Investigación del comportamiento*. México DF: McGraw-Hill.
- Kramer, A. F., Erickson, K. I., & Colcombe, S. J. (2006). Exercise, cognition, and the aging brain. *Journal Applied Physiology*, 101(4), 1237-1242. doi: 10.1152 / japplphysiol.00500.2006
- Kubesch, S., Walk, L., Spitzer, M., Kammer, T., Lainburg, A., Heim, R., & Hille, K. (2009). A 30-Minute physical education program improves students' executive attention. *Mind, Brain, and Education*, 3(4), 235-242. doi.org/10.1111/j.1751-228X.2009.01076.x
- Lautenschlager, N. T., Cox, K. L., Flicker, L., Foster, J. K., Bockxmeer, F. M. van, Xiao, J., ... Almeida,

- O. (2008). Effect of Physical Activity on Cognitive Function in Older Adults at Risk for Alzheimer Disease. *JAMA: The Journal of the American Medical Association*, 300(9), 1027-1037. doi: 10.1001 / jama.300.9.1027
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "Frontal Lobe" tasks: a latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100. doi.org/10.1006/cogp.1999.0734
- Niendam, T. A., Laird, A. R., Ray, K. L., Dean, Y. M., & Carter, C. S. (2013). Meta-analytic evidence for a superordinate control network subserving diverse executive functions. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 12(2), 241-268. doi.org/10.3758/s13415-011-0083-5
- Niet, A. G. van der, Hartman, E., Smith, J., & Visscher, C. (2014). Modeling relationships between physical fitness, executive functioning, and academic achievement in primary school children. *Psychology of Sport and Exercise*, 15(4), 319-325. doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.02.010
- Niet, A. G. van der, Smith, J., Oosterlaan, J., Scherder, E. J., Hartman, E., & Visscher, C. (2016). Effects of a Cognitively Demanding Aerobic Intervention During Recess on Children's Physical Fitness and Executive Functioning. *Pediatric Exercise Science*, 28(1), 64-70. doi.org/10.1123/pes.2015-0084
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2010). Recomendaciones mundiales sobre actividad física para la salud. Ginebra, Suiza: Autor. Recuperado de http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/144441/9789243599977_spa.pdf;jsessionid=D3B6D32144C36FB7541FEA2BEAC9E620?sequence=1
- Pasanen, T. P., Tyrväinen, L., & Korpela, K. M. (2014). The relationship between perceived health and physical activity indoors, outdoors in built environments, and outdoors in nature. *Applied Psychology: Health and Well-Being*, 6(3), 324-346. doi.org/10.1111/aphw.12031
- Prakash, R. S., Snook, E. M., Erickson, K. I., Colcombe, S. J., Voss, M. W., Motl, R. W., & Kramer, A. F. (2007). Cardiorespiratory fitness: A predictor of cortical plasticity in multiple sclerosis. *NeuroImage*, 34(3), 1238-1244. doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.10.003
- Prakash, R. S., Voss, M. W., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2015). Physical activity and cognitive vitality. *Annual Review of Psychology*, 66, 769-797. doi.org/10.1146/annurev-psych-010814-015249
- Rasmussen, P., Brassard, P., Adser, H., Pedersen, M. V., Leick, L., Hart, E., ... Pilegaard, H. (2009). Evidence for a release of brain-derived neurotrophic factor from the brain during exercise. *Experimental Physiology*, 94(10), 1062-1069. doi.org/10.1113/expphysiol.2009.048512
- Richardson, E. A., Pearce, J., Mitchell, R., & Kingham, S. (2013). Role of physical activity in the relationship between urban green space and health. *Public Health*, 127(4), 318-324. doi.org/10.1016/j.puhe.2013.01.004
- Riggs, N., Chou, C.-P., Spruijt-Metz, D., & Pentz, M. A. (2010). Executive cognitive function as a correlate and predictor of child food intake and physical activity. *Child Neuropsychology: A Journal on Normal and Abnormal Development in Childhood and Adolescence*, 16(3), 279-292. doi.org/10.1080/09297041003601488
- Scherder, E. J. A., Paasschen, J. van, Deijen, J.-B., Knokke, S. van der, Orlebeke, J. F. K., Burgers, I., ... Sergeant, J. A. (2004). Physical activity and executive functions in the elderly with mild cognitive impairment. *Aging & Mental Health*, 9(3), 272-280. doi.org/10.1080/13607860500089930
- Strauss, E., Sherman, E. M., & Spreen, O. (2007). *A Compendium of Neuropsychological Tests: Administration, Norms, and Commentary*. New York: Oxford University Press. //doi.org/10.1080/09084280701280502
- Tomprowski, P. D., Davis, C. L., Miller, P. H., & Naglieri, J. A. (2008). Exercise and children's intelligence, cognition, and academic achievement. *Educational Psychology Review*, 20(2), 111-131. doi.org/10.1007/s10648-007-9057-0
- Tomprowski, P. D., McCullick, B., Pendleton, D. M., & Pesce, C. (2014). Exercise and children's

- cognition: The role of exercise characteristics and a place for metacognition. *Journal of Sport and Health Science*, 4(1), 47-55. doi.org/10.1016/j.jshs.2014.09.003
- Tomporowski, P. D., & Taylor, A. H. (2013). Editorial for physical activity and cognitive functioning. *Mental Health and Physical Activity*, 6(3), 163-164. doi.org/10.1016/j.mhpa.2013.09.001
- Voss, M. W., Weng, T. B., Burzynska, A. Z., Wong, C. N., Cooke, G. E., Clark, R., ... Kramer, A. F. (2015). Fitness, but not physical activity, is related to functional integrity of brain networks associated with aging. *NeuroImage*, 131(1), 113-125. doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.10.044
- Wójcicki, T. R., & McAuley, E. (2014). II. Physical activity: measurement and behavioral patterns in children and youth. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 79(4), 7-24. doi.org/10.1111/mono.12128
- Wong, C. N., Chaddock-Heyman, L., Voss, M. W., Burzynska, A. Z., Basak, C., Erickson, K. I., ... Kramer, A. F. (2015). Brain activation during dual-task processing is associated with cardiorespiratory fitness and performance in older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 7(Article 154). doi.org/10.3389/fnagi.2015.00154
- World Medical Association [WMA]. (2013). Declaración de la Asociación Médica Mundial de los principios éticos de Helsinki para la investigación médica en seres humanos. *JAMA*, 310(20), 2191-2194. doi.org/10.1001/jama.2013.281053

Para citar este artículo / To cite this article / Para citar este artigo: Aguirre-Loaiza, H., Parra, J., Bartolo, L. J., Cardona, M. A. y Arenas, J. A. (2019). Desempeño neuropsicológico e indicadores de frecuencia, duración y tiempo de la sesión del ejercicio físico. *Pensamiento Psicológico*, 17(1), 19-32. doi:10.11144/Javerianacali.PPSI17-1.dnif