

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**EJERCICIO AERÓBICO AGUDO Y SUS POSIBLES EFECTOS SOBRE LA  
MEMORIA DE TRABAJO**

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en  
Ciencias Cognoscitivas para optar al grado y título de Maestría Académica en Ciencias  
Cognoscitivas

BRYAN MONTERO HERRERA

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

2023

Costa Rica

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo final a mi mamá Jeannette Herrera Vargas y a mi papá Luis Guillermo Montero, por apoyarme en cada proyecto de mí vida y enseñarme que el estudio es la principal herramienta para uno salir adelante y que rendirse nos es una opción. A mi hermana, por todas esas horas de estudio compartidas y por ser un ejemplo a seguir en lo académico y lo laboral. De igual forma a mi cuñado, abuelos y demás familiares que han puesto su granito de arena para permitirme llegar hasta ésta etapa, gracias de todo corazón. Este trabajo es para ustedes.

## Agradecimientos

Primeramente, darle las gracias a Dios por la oportunidad de avanzar poco a poco en este proceso, que requirió mucha paciencia, dedicación y voluntad para lograr culminarlo de la manera más exitosa.

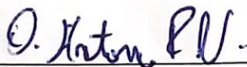
Agradezco al profesor Odir Rodríguez por todas las enseñanzas a lo largo de este proceso de tesis, fueron muchos los conceptos y conocimientos que con paciencia tuvo que explicarme para poder ir asentando mejor las bases de este proyecto. A mi otro asesor, Juan Carlos Brenes, por sacar tanto tiempo para explicarme detalle a detalle la relación entre procesos cognitivos y ejercicio desde la perspectiva de la neurobiología, además de enseñarme como escribir. Al profesor Jaime Fornaguera, por siempre estar ahí cuando se ocupaba un consejo no solo de mi trabajo sino también de como seguir en mi proceso de formación, lo cual tienen un valor incalculable. A mi colega y amigo Gerardo Araya Vargas, quien siempre, a pesar de su horario tan estrecho, buscaba un espacio para aconsejarme o guiarme con distintos artículos que me ayudaran a comprender mejor una idea.

Finalmente, agradezco a la Escuela de Educación Física, al Centro de Investigación en Ciencias del Movimiento Humano y al Centro de Investigación en Neurociencias por estos años de apoyo. Cada uno de los profesores, técnicos, administrativos y personal fueron una parte super importante en la culminación de este trabajo, no tengo como retribuirles, pero lo que sí puedo asegurarles es que me esforzaré para poner en práctica cada una de sus enseñanzas.

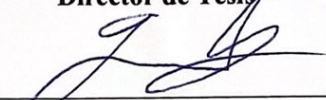
“Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Cognoscitivas de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en Ciencias Cognoscitivas”



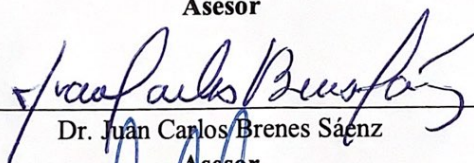
Dra. Gloriana Rodríguez Arauz  
**Representante de la Decana**  
**Sistema de Programa de Posgrado**



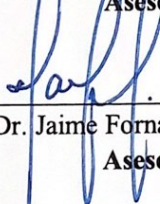
Dr. Odir Antonio Rodríguez Villagra  
**Director de Tesis**



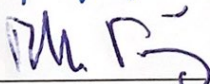
Dr. Gerardo Araya Vargas  
**Asesor**



Dr. Juan Carlos Brenes Sáenz  
**Asesor**



Dr. Jaime Fornaguera Trías  
**Asesor**



Dr. Rolando Pérez-Sánchez  
**Director Programa de Posgrado en Ciencias Cognoscitivas**



Bryan Montero Herrera  
**Candidato**

**Tabla de contenidos**

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Hoja de aprobación.....	iv
Resumen.....	vi
Abstract.....	vii
Lista de tablas.....	viii
Lista de figuras.....	ix
Lista de abreviaturas.....	x
Documento al SEP.....	1
Justificación.....	2
Objetivo General.....	7
Objetivos específicos.....	7
Metodología.....	8
Resultados.....	15
Discusión.....	26
Referencias.....	30
Anexos.....	40

## Resumen

Varios estudios han reportado mejoras en la memoria de trabajo en diferentes momentos de recuperación post-ejercicio agudo; sin embargo, aún se desconocen los mecanismos que le subyacen. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue examinar si una sola sesión de ejercicio aeróbico a intensidad moderada influye en la cantidad de representaciones que se mantienen (Proporción de respuestas correctas, PC de acá en adelante) y en el tiempo que se emplea para actualizarlas (Tiempo de actualización de acá en adelante) en una Tarea de Actualización de la Memoria de Trabajo Visoespacial. Específicamente, se evaluó la manera en la que esta sesión de ejercicio influye sobre la bien documentada relación entre la carga cognitiva (CC) y la PC en la memoria de trabajo. Además, se examinó la manera en la que diferentes mapeos de estímulos respuesta (i.e., actualizar representaciones de acuerdo con el color de indicado por flechas rojas y negras) influyen en la PC y en el tiempo de actualización. Ciento cincuenta y siete adultos jóvenes completaron una de las cuatro condiciones posibles: (A) ejercicio y 30-min post-ejercicio [Ex<sub>30</sub>], (B) control y 30-min post-video [C<sub>30</sub>], (C) ejercicio y 60-min post-ejercicio [Ex<sub>60</sub>], y (D) control y 60-min post-video [C<sub>60</sub>]. La tarea se realizó antes y 30 o 60 minutos después de la recuperación. No hubo diferencias en la PC en ensayos con alta y baja CC en Ex<sub>30</sub> y Ex<sub>60</sub>, sin embargo, el rendimiento en ensayos con alta CL fue menor en C<sub>30</sub> y C<sub>60</sub>. El tiempo de actualización en las condiciones de flecha con mayor procesamiento cognitivo (es decir, Rojo y Mixto) no difirió entre Ex<sub>30</sub> y Ex<sub>60</sub>. En los grupos control, C<sub>30</sub> presentó un tiempo de actualización mayor en flechas Rojas y Mixtas en comparación con C<sub>60</sub>. En conclusión, se demostró por primera vez que la PC y el tiempo de actualización no se vieron afectados por la carga cognitiva 30 minutos y 60 minutos después del ejercicio.

**Palabras clave:** memoria de trabajo, ejercicio agudo, intensidad moderada, tiempo libre de respuesta

## Abstract

Several studies have reported improvements in working memory at different moments of post-acute exercise recovery; however, the mechanisms underlying it are still unknown. Therefore, this study aimed to examine whether a single bout of moderate-intensity aerobic exercise influences the number of representations that are maintained (proportion of correct response, PC hereafter) and the time spent to update them (updating time hereafter) in a Visuospatial Working Memory Updating Task. Specifically, we evaluated how this exercise session influences the well-documented relationship between cognitive load (CL) and CP in working memory. Furthermore, we examined how different stimulus-response mappings (i.e., updating representations according to the color indicated by red and black arrows) influence PC and update time. One hundred and fifty-seven young adults completed one out of four possible conditions, (A) exercise and 30-min post-exercise [Ex<sub>30</sub>], (B) control and 30-min post-video [C<sub>30</sub>], (C) exercise and 60-min post-exercise [Ex<sub>60</sub>], and (D) control and 60-min post-video [C<sub>60</sub>]. The task was performed pre- and post-recovery in intervals of 30-min or 60-min. There were no differences in PC trials with either high and low CL in Ex<sub>30</sub> and Ex<sub>60</sub>, however, the performance in high cognitive load trials was lower for C<sub>30</sub> and C<sub>60</sub>. Update time in arrow conditions with higher cognitive processing (i.e., Red and Mixed) did not differ between Ex<sub>30</sub> and Ex<sub>60</sub>. In the control groups, C<sub>30</sub> presented a slower updating time in Red and Mixed arrows compared to C<sub>60</sub>. In conclusion, for the first time, it was demonstrated that both the proportion correct and updating time remained unaffected by cognitive load 30 minutes and 60 minutes post-exercise recovery.

**Keywords:** working memory, acute exercise, moderate intensity, free response time

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1.</b> Estadística descriptiva de los participantes.....	9
<b>Tabla 2.</b> Estimaciones de los parámetros del modelo de tiempo de actualización en la Tarea de Actualización de la Memoria de Trabajo Visoespacial basadas en el $\Delta AIC$ .....	18
<b>Tabla 3.</b> Estimaciones de los parámetros del modelo de tiempo de actualización de la Tarea de Actualización de la Memoria de Trabajo Visoespacial basadas en $\Delta AIC$ .....	19
<b>Tabla 4.</b> Estimaciones de los parámetros del modelo proporción de correctas de la Tarea de Actualización de la Memoria de Trabajo Visoespacial basadas en $\Delta AIC$ .....	23

## Lista de figuras

Figura 1. Representación esquemática de la Tarea de Actualización de la Memoria de Trabajo Visoespacial.....	10
Figura 2. Representación esquemática de las condiciones experimentales.....	12
Figura 3. Resumen del modelo de tiempo de actualización de la Tarea de Actualización de la Memoria de Trabajo Visoespacial.....	21
Figura 4. Visualización del término de interacción entre las condiciones experimentales y las condiciones de las flechas (es decir, mixtas, negras y rojas).....	22
Figura 5. Resumen del modelo de proporción de correctas de la Tarea de Actualización de la Memoria de Trabajo Visoespacial.....	24
Figura 6. Visualización del término de interacción entre las condiciones experimentales y las condiciones de carga cognitiva (alta y carga).....	25

## Lista de abreviaturas

Abreviatura	Significado
MdT	Memoria de trabajo
VO <sub>2</sub> máx	Consumo máximo de oxígeno
FC <sub>máx</sub>	Frecuencia cardíaca máxima
TBR <sub>S</sub>	Tiempo Libre de Respuesta Basado en el Tiempo
DLPFC	Corteza Prefrontal Dorsolateral
BDNF	Factor Neurotrófico Derivado del Cerebro
NIRS	Espectroscopía del Infrarrojo Cercano
CC	Carga Cognitiva
CC <sub>Alta</sub>	Carga cognitiva alta
CC <sub>Baja</sub>	Carga cognitiva baja
EX <sub>30</sub>	Experimental 30 minutos después del ejercicio
C <sub>30</sub>	Control 30 minutos después del vídeo
EX <sub>60</sub>	Experimental 60 minutos después del ejercicio
C <sub>60</sub>	Control 60 minutos después del vídeo
CEC	Comité de Ética de la Universidad de Costa Rica
FC <sub>R</sub>	Frecuencia Cardíaca en Reposo
IMC	Índice de Masa Corporal
LMMs	Modelos lineales de efectos mixtos
CF	Condiciones de las flechas
CE	Condición experimental
AIC	Criterio de información de Akaike
CI	Intervalos de confianza
GL	Grados de libertad
PREcov <sub>ta</sub>	Pretest covariada de tiempo de actualización
PREcov <sub>pc</sub>	Pretest covariada de proporción de correctas
C	Control
Ex	Ejercicio
M	Mixtas
R	Rojas
N	Negras

## Documento al SEP



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA

SEP Sistema de  
Estudios de Posgrado

**Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.**

Yo, Bryan Montero Herrera, con cédula de identidad 1-1450-0208, en mi condición de autor del TFG titulado Ejercicio aeróbico agudo y sus posibles efectos sobre la memoria de trabajo

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI  NO

\*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: \_\_\_\_\_ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

**INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:**

Nombre Completo: Bryan Montero Herrera

Número de Carné: A94006 Número de cédula: 1-1450-0208

Correo Electrónico: bryan.monteroherrera@ucr.ac.cr

Fecha: \_\_\_\_\_, Número de teléfono: 8887-7156

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): Odir Rodríguez Villagra

**FIRMA ESTUDIANTE**

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

## Justificación

La evidencia acumulada ha sugerido una mejora inducida por el ejercicio en algunas funciones cognitivas después de una sola sesión de ejercicio (es decir, intervención de ejercicio agudo; Brush et al., 2016; Etnier et al., 2016; Liu et al., 2020; Mandolesi et al., 2018). En esta área de investigación, el proceso cognitivo que en los últimos años ha recibido más atención es la memoria de trabajo (MdT). Este último es un sistema de control atencional con capacidad limitada para mantener, manipular y recuperar información para las tareas en curso (Eichenbaum & Cohen, 2004; Galloway et al., 2008; Oberauer, 2009; Wilhelm et al., 2013). La MdT ha sido considerada un predictor de la inteligencia, el procesamiento de la información, la comprensión lectora, la resolución de problemas, los estados de ánimo y el aprendizaje (Dehn, 2011; Giofrè et al., 2013; Oberauer, 2009; Peng et al., 2016). Los estudios sobre ejercicio agudo y MdT se han centrado principalmente en niños, adultos mayores y poblaciones con deterioro cognitivo, mientras que pocas investigaciones se han dirigido a adultos jóvenes y cognitivamente sanos (Ludyga et al., 2022; McMorris et al., 2011; Rathore & Lom, 2017; Zhu et al., 2023). En un pequeño número de estas publicaciones se ha encontrado que intervenciones de ejercicio agudo mejoran el rendimiento de la MdT. Estudios empíricos y metaanálisis recientes han comenzado a estudiar si la relación entre el ejercicio y la cognición bajo la afirmación “el ejercicio mejora la cognición” se aplica para todas las edades y condiciones (Chang et al., 2013; Kato et al., 2018; Mirelman et al., 2014; Rathore y Lom, 2017).

El periodo de la adultez se caracteriza por condiciones que exigen mucho, desde lo físico hasta lo mental (por ejemplo, estudios universitarios, trabajo y vida personal; Infurna et al., 2020). Una posible razón de la falta de literatura en cognición en dicha población es el efecto techo, que limita el margen de mejora (Ludyga et al., 2022). La práctica temprana de ejercicio es beneficiosa para retrasar el deterioro cognitivo y reducir el riesgo de demencia en la vejez (Greene et al., 2019); por lo tanto, hoy en día es imperativo promover estrategias para incrementar los niveles de ejercicio y/o actividad física.

Durante el ejercicio se ha observado un aumento de la actividad en las regiones cerebrales frontal, temporal y parietal (Voss, Erickson, et al., 2010; Voss, Prakash, et al., 2010); y es conocido que las regiones frontales del cerebro están asociadas con mejoras en el procesamiento cognitivo (Cotman et al., 2007; Niendam et al., 2012; Stillman et al., 2020).

Una función cognitiva que depende parcialmente de la corteza prefrontal es la MdT (D'Ardenne et al., 2012). Los estudios que tratan de relacionar el ejercicio y la MdT se ha realizado principalmente utilizando diferentes paradigmas como *n*-back, tareas de amplitud simple y tareas de amplitud compleja en todo el espectro de edades (McMorris et al., 2011; Rathore & Lom, 2017; Wang et al.; 2023; Zhidong et al., 2021). La tarea *n*-back implica recordar si el elemento actual coincide con el presentado *n* elementos anteriormente. La tarea de amplitud simple se refiere a tareas que miden la memoria a corto plazo (por ejemplo, amplitud de dígitos). Las tareas de amplitud compleja miden la capacidad de la MdT, ya que requieren mantener información en la memoria mientras se toman decisiones simples (por ejemplo, resolución de operaciones, conteo, rotación; Mathy et al., 2018; Redick & Lindsey, 2013). Los paradigmas anteriores se centran principalmente en medidas de capacidad; es decir, medidas que reflejan cuántos elementos puede recordar una persona con precisión. Sin embargo, MdT no es sólo un sistema para mantener información, sino que también requiere actualizar representaciones que se basan en la integración dinámica de elementos relevantes e información del contexto. Por lo tanto, la actualización de MdT es un proceso esencial para mantener el enfoque en la información relevante y reemplazar la información obsoleta con información concurrente (Ecker et al., 2014).

Para examinar la relación entre la MdT y la intensidad del ejercicio, desarrollamos una Tarea de Actualización de la MdT Visoespacial que permitió la descomposición de una medida para la capacidad de la MdT, así como una medida para la velocidad (eficiencia) para actualizar la información en diferentes condiciones. En la tarea, se le solicitó a los participantes que codificaran la ubicación inicial de los estímulos los cuales se sometieron a tres pasos de actualización (ver Figura 1). Se requieren pasos de actualización para cambiar las ubicaciones espaciales dentro de una cuadrícula de acuerdo con las flechas, si el color de las flechas es negro se debe cambiar la ubicación del estímulo en la dirección indicada, si las flechas son rojas se debe cambiar la ubicación del estímulo en la dirección opuesta. Las respuestas a cada paso de actualización se dieron mediante un clic con el mouse de la computadora en la celda que los participantes consideraron correcta. La tarea registró el tiempo y la precisión para actualizar el estímulo e inmediatamente proporcionó un intervalo de tiempo libre antes del siguiente estímulo (es decir, una flecha, un estímulo para codificación o la fase de recuperación, ver Figura 1). Al final de la prueba, se pidió a los

participantes que informaran la última ubicación de cada estímulo haciendo clic en la celda que consideraran correcta. Los tiempos de respuesta en los pasos de actualización pueden considerarse como una medida de la eficiencia de la actualización de MdT (tiempo de actualización de ahora en adelante) y la precisión al final de la prueba puede considerarse como una medida de la capacidad de MdT (proporción de correctas, PC de ahora en adelante). Los intervalos de tiempo libre descritos anteriormente nos permiten manipular lo que consideramos un *proxy* de la carga cognitiva (CC; Barrouillet et al., 2007, 2009, 2011).

Según la teoría del intercambio de recursos basado en el tiempo (TBRS), la CC es la proporción de tiempo durante la cual el procesamiento de la información captura recursos atencionales (Barrouillet et al., 2007, 2009, 2011). La teoría de la TBRS sugiere que cuando la atención se dedica a procesar información irrelevante/secundaria durante una tarea de MdT, los rastros de memoria de los estímulos que se van a recordar decaen rápidamente con el tiempo. Se supone que tanto el procesamiento de información irrelevante como la actualización se basan en el mismo recurso atencional. Como resultado, el deterioro de las huellas de la memoria se puede compensar mediante la actualización, especialmente durante los períodos de tiempo libre. La actualización es un mecanismo de dominio general que se refiere al proceso de atender brevemente a un elemento en MdT (Oberauer & Souza, 2020). En el contexto de nuestra Tarea de Actualización de MdT Visoespacial, asumimos que, durante la actualización de una representación, los rastros de memoria de las otras representaciones en MdT decaen o se degradan con el tiempo. Por lo tanto, en nuestra tarea, el tiempo libre para cada paso de actualización se calculó mediante el producto del tiempo de actualización y los parámetros 0.15 y 1.7. El último procedimiento genera dos condiciones de CC: una condición CC alta ([CC<sub>Alta</sub>], tiempo de actualización x 0.15) y una CC baja ([CC<sub>Baja</sub>], tiempo de actualización x 1.7). En la primera condición (CC<sub>Alta</sub>), los participantes tienen menos tiempo para refrescar la memoria; y, por tanto, la teoría TBRS predice una menor PC en esta condición. En conjunto, nuestra tarea permite un control cuidadoso del tiempo de codificación y actualización, y la proporción de tiempo libre durante los pasos de actualización que se puede utilizar para actualizar las memorandas (ver Figura 1).

La evidencia proporciona una imagen poco clara de la relación entre la cognición y el ejercicio (Cotman et al., 2007; Erickson et al., 2019; Etnier et al., 1997; Gallardo-Gómez et al., 2022; Ludyga et al., 2022; Soga et al., 2015). Estas inconsistencias pueden deberse

especialmente a factores como el nivel de forma física, la hora del día, la duración del ejercicio, la intensidad del ejercicio, el tipo de ejercicio, la prueba cognitiva, la CC y el momento posterior a la evaluación (Brush et al., 2016; Hsieh et al., 2016; Kao et al., 2021; Loprinzi, 2019). Se ha concedido especial atención a la intensidad, ya que cada vez hay más pruebas que sugieren que el ejercicio agudo de intensidad moderada ( $\geq 40$ - $<80\%$  de consumo máximo de oxígeno [ $VO_2$ máx] o frecuencia cardíaca máxima [FCmáx]) mejora el rendimiento cognitivo (Ando et al., 2020; Dietrich y Audiffren, 2011; Loprinzi, 2019; McMorris, 2021). Por otro lado, también se sugiere que la duración de los entrenamientos superiores a 1 hora puede estar relacionada con la aparición de síntomas de fatiga (e.g., aumento del estrés térmico) y cambios hormonales, que conducen a la disminución de los valores obtenidos en las pruebas (Brisswalter et al., 2002; Dietrich & Audiffren, 2011). Sin embargo, un metaanálisis reciente afirma que se observa un tamaño del efecto significativo en MdT visuoespacial después de realizar al menos 30 minutos de ejercicio (Zhu et al., 2023).

El período posterior a la recuperación es uno de los mayores retos en la literatura sobre ejercicio y cognición. Se han postulado diferentes momentos post-tratamiento (e.g., inmediatamente después, 10-min, 15-min, 20-min, 30-min, 45-min, 60-min, 24 horas) y los hallazgos son inconsistentes (Brutvan et al., 2016; Chang et al., 2012; Crush & Loprinzi, 2017; Loprinzi et al., 2020, 2023; Nanda et al., 2013). Tras el cese del ejercicio y antes de la realización de la tarea, varios recursos metabólicos y neuroquímicos pueden estar relacionados con una mejora del rendimiento (e.g., mayor PC y tiempo de actualización más rápido). Por ejemplo, mayores niveles de flujo sanguíneo, catecolaminas (dopamina y norepinefrina), factores neurotróficos (factor neurotrófico derivado del cerebro [BDNF]) y mioquinas (e.g., irisina y catepsina b) se miden después de hacer ejercicio, y algunas pueden persistir incluso durante 60 min después del ejercicio (e.g., irisina y BDNF; Etnier et al., 1997; Fox et al., 2018; Seifert et al., 2010; Walsh & Tschakovsky, 2018). La mayoría de las pruebas sobre la MdT y tareas de alta exigencia cognitiva habían propuesto 30 min después del ejercicio como un momento fiable para estudiar posibles cambios entre participantes que se ejercitaron comparados con los controles (Kao et al. 2020, 2021). Sin embargo, si algunos procesos fisiológicos siguen elevados incluso 60 min después del ejercicio, todavía es posible proponer que se pueden observar diferencias en tareas con alta demanda cognitiva.

En resumen, no está claro en qué condiciones y en qué medida el ejercicio agudo influye en la MdT. El objetivo principal del presente trabajo fue examinar los efectos de una sesión aguda de ejercicio aeróbico de intensidad moderada sobre la PC y el tiempo de actualización en nuestra Tarea de Actualización de la MdT Visuoespacial. Específicamente, nuestro objetivo fue examinar si una intervención de ejercicio agudo moderado influye en la PC y el tiempo de actualización considerando las condiciones de CC y flechas (es decir, mover en la misma dirección o en la opuesta). Hasta donde sabemos, ninguna investigación ha explorado el papel del ejercicio en la relación entre CC y MdT en el contexto de la teoría TBRS. Además, aún más importante es aclarar si los beneficios del ejercicio persisten incluso 30 min y 60 min posteriores a su cese considerando la CC (Kamijo & Abe, 2019; Yamazaki et al., 2018). Nuestra hipótesis es que los grupos de ejercicio presentarán un mejor rendimiento en nuestra Tarea de Actualización de la MdT Visuoespacial en comparación con el grupo de control 30 min después del ejercicio. La ventana de tiempo de 60 min no se ha estudiado en profundidad, pero considerando los hallazgos previos y los mecanismos fisiológicos y neurológicos, esperamos que los grupos de ejercicio mantengan sus beneficios 60 min más tarde (Etnier et al., 1997; Fox et al., 2018; Seifert et al., 2010; Walsh & Tschakovsky, 2018). Además, predijimos que la PC será mayor en las condiciones de ejercicio en contraste con las condiciones de control según hallazgos anteriores (Zhu et al., 2023) y este efecto persistiría durante 30 y 60 min. A continuación, esperábamos obtener un menor tiempo de actualización en las condiciones de ejercicio en comparación con las condiciones de control (Fernandes et al., 2018) y este efecto se mantendría durante 30 y 60 min. En consonancia con estudios previos que informaron hallazgos inconsistentes para la condición de cambio de regla (Cantelon & Giles, 2021; Labelle et al., 2013; Pesce et al., 2003; Wang et al., 2013) -en este caso en específico determinado por colores que indicaban una dirección- planteamos la hipótesis de que un tiempo de actualización más rápido y una mayor PC se obtendrán para las condiciones de ejercicio y este efecto persistirá durante 30 y 60 min. Por último, considerando un efecto positivo del ejercicio en tareas de memoria altamente exigentes 30 minutos después de la recuperación (Kao et al., 2020, 2021), predijimos que la PC y el tiempo de actualización será mejor en las condiciones de ejercicio en comparación con las condiciones de control a los 30 y 60 min post-recuperación.

### **Objetivo General**

Examinar la influencia de una sesión de ejercicio aeróbico de intensidad moderada sobre la cantidad de representaciones que se mantienen y el tiempo para actualizarlas en la Memoria de Trabajo Visoespacial.

### **Objetivos específicos**

- 1) Evaluar la influencia de una sesión de ejercicio aeróbico de intensidad moderada sobre el tiempo de actualización a los 30 y 60 minutos post ejercicio.
- 2) Evaluar la influencia de una sesión de ejercicio aeróbico de intensidad moderada sobre la PC a los 30 y 60 minutos post ejercicio.
- 3) Evaluar la influencia de una sesión de ejercicio aeróbico de intensidad moderada sobre el tiempo de actualización considerando el color de las flechas a los 30 y 60 minutos post ejercicio.
- 4) Evaluar la influencia de una sesión de ejercicio aeróbico de intensidad moderada sobre la proporción de respuestas correctas considerando el color de las flechas a los 30 y 60 minutos post ejercicio.
- 5) Evaluar la influencia de una sesión de ejercicio aeróbico de intensidad moderada sobre la proporción de respuestas correctas considerando la carga cognitiva a los 30 y 60 minutos post ejercicio.

## Metodología

- a. **Diseño del estudio:** Los participantes fueron distribuidos aleatoriamente en cuatro condiciones las cuales fueron; (A) ejercicio por 30-min y 30-min recuperación [Ex<sub>30</sub>], (B) control por 30-min y 30-min recuperación [C<sub>30</sub>], (C) ejercicio por 30-min y 60-min recuperación [Ex<sub>60</sub>], y (D) control por 30-min y 60-min recuperación [C<sub>60</sub>]. La memoria de trabajo se registró en dos posibles momentos, T1 y T2 (30-min o 60-min después del tratamiento respectivamente).
- b. **Participantes:** El tamaño de la muestra necesario para el presente experimento se calculó utilizando G\*Power 3.1 (Faul et al., 2007). Se calculó un tamaño muestral total óptimo de  $n= 80$  (20 por grupo), con un tamaño del efecto moderado de 0.25 (McMorris et al., 2011; Olivo et al., 2021), una potencia de 0.6 y un valor alfa = 0.05. Se invitó a participar en el estudio a 81 hombres adultos jóvenes y 82 mujeres adultas jóvenes de la Universidad de Costa Rica (UCR) reclutadas por medio de redes sociales. Se seleccionó este rango de edad porque no ha sido ampliamente estudiado en el campo del ejercicio y la cognición (Blomstrand & Engvall, 2020; Hötting et al., 2012; McMorris, 2016). Se tomaron como muestra estudiantes de diversas disciplinas como Psicología, Estadística, Educación, Nutrición, Microbiología, Enfermería y Biología, entre otras. Se excluyó de este estudio a los posibles voluntarios que manifestaran (1) dependencia a sustancias, (2) trastornos neurológicos, enfermedades cardiovasculares o trastornos musculoesqueléticos, (3) daltonismo o cualquier problema ocular que dificulte el reconocimiento de formas o colores, y (4) riesgos potenciales asociados al ejercicio. El estudio se desarrolló de acuerdo con la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el comité de ética de la Universidad de Costa Rica (CEC-103-2020, 26-2-2020). Todos los participantes dieron su consentimiento informado por escrito tras recibir explicaciones verbales y escritas sobre el estudio. Los participantes no recibieron ninguna compensación monetaria. Los datos de seis participantes fueron excluidos de todos los análisis, por las siguientes razones: técnicas ( $n=1$ ), por no hacer clic ( $n=2$ ), o por problemas de reconocimiento de ID ( $n=3$ ). La muestra final fue de 157 participantes (véase la tabla 1).

**Tabla 1.** Estadística descriptiva de los participantes

	Ex30			C30			Ex60			C60		
	Hombres (19)	Mujeres (19)	Total (38)	Hombres (20)	Mujeres (20)	Total (40)	Hombres (20)	Mujeres (20)	Total (40)	Hombres (20)	Mujeres (19)	Total (39)
Edad	22.89± 4.18	24.37± 4.35	23.63± 4.27	24.1± 4.75	23.5± 4.43	23.80± 4.54	25.35± 4.80	22.8± 3.09	24.08 ±4.19	4.61	23.84± 3.0	23.15± 3.91
Peso (kg)	76.12± 13.44	59.48± 9.40	67.80± 14.21	73.52± 12.05	64.51± 16.30	69.02± 14.87	75.25± 10.08	59.33± 8.75	67.29± 12.32	8.75	67.01± 11.11	57.52± 10.95
Altura (m)	1.74± 0.07	1.58± 0.07	1.50± 0.31	1.72± 0.07	1.60± 0.06	1.52± 0.33	1.71± 0.06	1.59± 0.07	1.70± 0.09	0.07	1.70± 0.08	1.64± 0.09
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	25.18± 4.15	23.73± 3.83	24.46± 4.01	24.76± 3.91	25.28± 5.89	25.02± 4.94	25.59± 2.15	23.19± 2.86	24.39± 3.21	3.21	23.57± 3.53	22.49± 3.37

Nota: Datos son presentados como Media ± Desviación estándar. IMC = Índice de Masa Corporal

### c. Materiales

c.1. PAR-Q (Shephard, 1988): Este instrumento constaba de 7 preguntas, diseñadas para identificar si un posible sujeto necesita consultar antes con un médico.

c.2. Tarea de Actualización de la Memoria de Trabajo Visoespacial (Rodríguez-Villagra, 2017): Los participantes se sentaron en una silla ajustable frente a un computador ubicado a 36 cm del borde de la mesa. El ensayo comenzó con la presentación de estímulos (que podrían variar su forma, color y textura) en una cuadrícula de 5x5. El estímulo aparecía en una celda y el participante contaba con 2 segundos para codificar la información. Esta visualización fue seguida por la presentación de una flecha en la celda central de la cuadrícula de 5x5. El participante tenía que cambiar la ubicación de los estímulos un lugar desde su ubicación actual en la dirección indicada por la flecha y recordar su nueva localización espacial. Durante un ensayo, las flechas podrían apuntar a ocho direcciones posibles (p. ej., arriba, abajo, izquierda, derecha o diagonal) y podrían presentarse solo flechas negras, solo flechas rojas o flechas negras y rojas (es decir, pruebas mixtas). Una flecha negra indica actualizar la ubicación actual del estímulo haciendo clic en una celda en la dirección señalada por la flecha. Una flecha roja indica que se actualice la ubicación actual del estímulo haciendo clic en una celda en la dirección opuesta a la que señala la flecha. (Ver figura 1). Las flechas permanecieron en la pantalla de la computadora hasta que el participante respondió y fue seguido por un breve intervalo de tiempo libre. El tiempo libre entre cada flecha se obtuvo del producto del tiempo de actualización registrado y el parámetro de CC. En los ensayos con CC<sub>Alta</sub> se multiplicó el tiempo de actualización por 0.15 y el resultado en milisegundos (ms) fue el tiempo libre. En los ensayos con ensayo CC<sub>Baja</sub>, el tiempo libre se obtuvo a partir



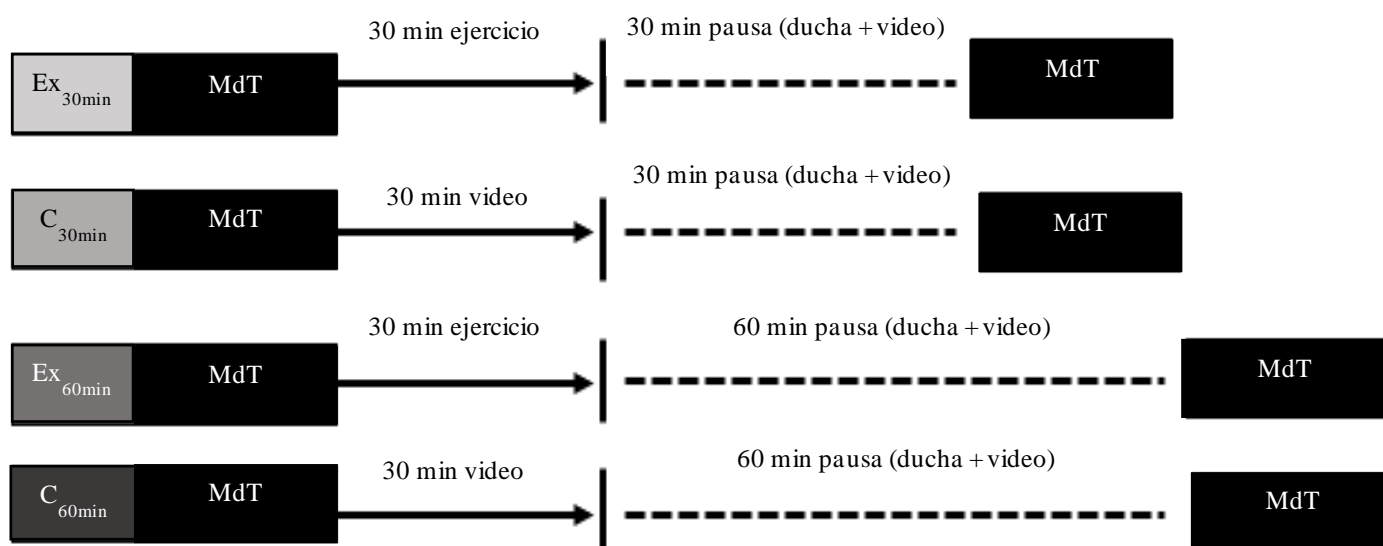
c.3. Frecuencia cardíaca en reserva: Para calcular la intensidad del ejercicio moderado ( $\geq 40\%$ - $< 80\%$  %  $FC_{m\acute{a}x}$ ) el método de Karvonen (Karvonen et al., 1957) es más preciso que la fórmula de  $220 - \text{la edad}$  y tiene alta correlación con el  $VO_{2m\acute{a}x}$  (American College of Sports, 2013). Los participantes tuvieron que permanecer sentados durante 5 minutos mientras llevaban un monitor de frecuencia cardiaca (Polar M400) para obtener la frecuencia cardíaca en reposo ( $FC_R$ ). A continuación, se calculó la  $FC_{m\acute{a}x}$  mediante la fórmula de Tanaka ( $[208 - (0.7 * \text{edad})]$ ; Tanaka et al., 2001)). Utilizando ambos resultados ( $FC_R$  y  $FC_{m\acute{a}x}$ ) se estimó la fórmula de Karvonen para  $\geq 40\%$  y  $< 80\%$  de intensidad aeróbica: Frecuencia Cardíaca Objetivo =  $[(FC_{m\acute{a}x} - FC_R) \times \% \text{Intensidad}] + FC_R$ .

### Procedimientos

Se indicó a los participantes que se abstuvieran de realizar ejercicios físicos y de consumir alcohol o café durante las 24 h previas a la intervención. Los sujetos acudieron al laboratorio en una sola ocasión con una duración aproximada de 3 h. Se examinaban un máximo de cuatro sujetos a la vez. Se respondió a cualquier pregunta antes de comenzar el experimento. A continuación, se llenaron dos consentimientos informados (uno para el participante y otro para el investigador) y un cuestionario Par-Q. Inmediatamente después se les midió la estatura, el peso corporal y el IMC (SECA Scale-up Line, Modelo 206). Para conocer la cantidad de actividad física de las personas participantes se les se les preguntó ¿Cuántas horas de ejercicio hace a la semana?

Tras resolver la Tarea de Actualización MdT Visoespacial, los participantes fueron asignados aleatoriamente a una de las cuatro condiciones (véase la Figura 2). Los que estaban en la condición experimental hicieron ejercicio durante 30 minutos en una bicicleta reclinada Cybex (modelo 770R) (calentamiento [5 minutos], ejercicio aeróbico de intensidad moderada [25 minutos] y enfriamiento [5 minutos]) entre  $\geq 40\%$  y  $< 80\%$  de  $FC_{m\acute{a}x}$ . La  $FC_{m\acute{a}x}$  se registró mediante sensores de frecuencia cardiaca situados a ambos lados del asiento, donde descansaban las manos. Los participantes en la condición de control vieron un documental español titulado "Redes 72: Deporte para un cerebro más sano" (RTVE, 2010). Tras la sesión de ejercicio o el documental, los participantes descansaron 30 o 60 minutos, dependiendo de la condición. Durante este tiempo se duchaban con agua fría y veían un documental gratuito

en español de YouTube hasta completar el tiempo de descanso (Costa Rica [Fuego fértil]; Costa Rica La Mística de Ser Felices; Costa Rica Paraísos Naturales de la Tierra Documentales de Viajes; Costa Rica Salvaje 2020; Costa Rica Salvaje; Encarcelados Costa Rica; La Fuerza de la Vida de Costa Rica, Se Asesina para Sobrevivir [Derechos Humanos Privados de Libertad], Serpientes de Costa Rica [ICP-UCR]). Finalizado el tiempo correspondiente, resolvieron nuevamente la Tarea de la Actualización de la MdT Visoespacial.



*Figura 2.* Representación esquemática de las condiciones experimentales. Las condiciones experimentales del estudio comprendieron 30 minutos post-ejercicio experimental (Ex<sub>30</sub>), 30 minutos post-video control (C<sub>30</sub>), 60 minutos post-ejercicio experimental (Ex<sub>60</sub>) y 60 minutos post-video control (C<sub>60</sub>). La evaluación se realizó mediante la Tarea de Actualización de la Memoria de Trabajo Visoespacial

## Análisis estadístico

El procesamiento de datos, los análisis y los gráficos se realizaron en Rstudio (RStudio Team, 2020) utilizando los siguientes paquetes: lme4 (Bates et al., 2015), sjPlot (Lüdtke, Bartel, et al., 2022), sjlabelled (Lüdtke, Ranzolin, et al., 2022), sjmisc (Lüdtke, 2018), coefplot (Lander, 2022), lmerTest (Kuznetsova et al., 2020) y MASS (Ripley et al., 2022). Se ajustaron modelos lineales de efectos mixtos (LMM, por sus siglas en inglés) para examinar los efectos de las condiciones de flecha ([CF], mixto, negro y rojo) y la carga cognitiva ([CC], alto y bajo) como factores intra-sujetos, y las condiciones experimentales ([CE], ejercicio para 30-min posttest 30-min después [E<sub>x30</sub>], control para 30-min posttest 30-min más tarde [C<sub>30</sub>], ejercicio para 30-min posttest 60-min más tarde [E<sub>x60</sub>], y control para 30-min posttest 60-min más tarde [C<sub>60</sub>]) como factores entre sujetos, sobre el tiempo de actualización y en la respuesta de los participantes durante la Tarea de la Actualización de la MdT Visoespacial. Además, utilizamos el tiempo de actualización y la PC, respectivamente. Para probar estos efectos, codificamos estos predictores como contrastes ortogonales a priori (es decir, comparaciones planificadas) en los que los efectos fijos estimaron las diferencias entre condiciones y el intercepto estimó la media general del tiempo de actualización y de la PC). En concreto, el tiempo de actualización y PC, CF se codificó como mixto (1), negro (-2) y rojo (1) para el primer contraste, y el segundo contraste, mixto (1), negro (0) y rojo (-1). La CC se codificó como CC<sub>Alta</sub> (-1) y CC<sub>Baja</sub> (1). En cuanto a CE, se planificaron tres contrastes, para el primero cada uno se codificó como E<sub>x30</sub> (-1), C<sub>30</sub> (1), E<sub>x60</sub> (-1), y C<sub>60</sub> (1); para el segundo contraste cada uno se codificó como E<sub>x30</sub> (0), C<sub>30</sub> (1), E<sub>x60</sub> (0), y C<sub>60</sub> (-1); y en el tercer contraste cada uno se codificó E<sub>x30</sub> (1), C<sub>30</sub> (0), E<sub>x60</sub> (-1), y C<sub>60</sub> (0). Por otra parte, las sesiones se codificaron como pretest (1) y posttest (-1) para el único contraste. Todos los LMM incluyeron el intercepto de participantes y ensayos como efectos aleatorios cruzados, y los modelos se ajustaron mediante el procedimiento de estimación de máxima verosimilitud.

Nuestros modelos se implementaron siguiendo una estrategia escalonada. Comenzamos con la implementación de un modelo nulo, que incluía el intercepto como efecto fijo, y el intercepto de los ensayos y las personas como efectos aleatorios cruzados. A continuación, incluimos sucesivamente los efectos fijos. Por último, incorporamos las interacciones y las

interacciones de tercer orden. Sólo se incluyeron los modelos que, según los algoritmos utilizados en el paquete lme4, convergieron con éxito.

Para la selección del modelo, utilizamos múltiples el criterio de desviación y el criterio de información de Akaike (AIC). Los valores de la desviación (es decir,  $2 \cdot \log$ -verosimilitud, deviance en inglés) no pueden utilizarse por sí solos como índice de ajuste porque son una función del tamaño de la muestra, pero pueden utilizarse para comparar el ajuste de distintos modelos; cuanto menor sea el valor, mejor será el modelo. Este estadístico no tiene en cuenta el número de parámetros de un modelo. El AIC permite comparar modelos de distinta complejidad. Se prefiere el modelo con el AIC más bajo. Para desambiguar el proceso de selección de modelos, incluimos las diferencias de AIC (es decir,  $\Delta AIC$ )<sup>1</sup>, en las que los valores de  $\Delta AIC$  entre 0 y 2 indican poco apoyo para discriminar entre modelos,  $\Delta AIC$  de 4 a 7 indican menos apoyo para el modelo con mayor AIC, y  $\Delta AIC > 10$  sugiere ningún apoyo para el modelo con mayor AIC (Burnham & Anderson, 2002). Además de estos criterios, examinamos la estimación del parámetro y sus intervalos de confianza (IC) como medida de precisión.

---

<sup>1</sup> El procedimiento para calcular las diferencias  $\Delta AIC$  implica seleccionar el modelo con el AIC más bajo; es decir, preliminarmente, un modelo ganador. A continuación, se calculan las diferencias entre el modelo ganador preliminar y los modelos restantes. Tras obtener estas diferencias, el modelo ganador adopta el valor 0 y los demás modelos adoptan las diferencias.

## RESULTADOS<sup>2</sup>

### Análisis de tiempos de actualización

La inspección visual del panel A de la Figura 3 sugirió una fuerte relación lineal entre los tiempos de respuesta en el pretest y el postest ( $r = 0,91$ ,  $p > 0,001$ ). En el panel B de la Figura 3, los IC del 95% para el tiempo de actualización se solaparon entre sí, lo que sugiere que no hubo diferencias entre las condiciones experimentales. Como era de esperar, el panel C de la Figura 3 indicaba tiempos de actualización más cortos para las flechas negras que para las mixtas y rojas (véanse los IC del 95% intra-sujetos). Este hallazgo sugiere que la actualización de las ubicaciones de los estímulos requirió más tiempo cuando se pidió a los participantes que los movieran en la dirección opuesta a las flechas negras o durante los ensayos en los que los participantes cambiaron entre las tareas denotadas por flechas negras y rojas. Según la figura 3, los tiempos de respuesta para flechas mixtas y rojas no fueron diferentes entre sí. Además, como sugieren los IC del 95% para la CC, no hubo diferencias en los tiempos de actualización entre las condiciones de CC.

El panel superior de la Tabla 2 da el  $\Delta AIC$  para los modelos que examinan el tiempo de actualización. El  $\Delta AIC$  apoyó el modelo 2 y dio menos apoyo al modelo 1. En este último modelo, la covariable (es decir, los tiempos de actualización en el pretest) y algunos de los términos de la interacción entre CC y CF no incluían el cero en sus IC al 95%. Sin embargo, los IC del 95% de los dos términos pertenecientes a la interacción entre CC y CF incluían cero, lo que sugería que estos parámetros no eran fiables (datos no reportados). Así pues, excluyendo esta interacción no fiable, el modelo 1 se parecía al modelo 2. En el modelo 2, la covariable y 5 de los 6 términos de la interacción entre CE y CA eran diferentes de cero (datos no reportados). Por lo tanto, considerando el apoyo del  $\Delta AIC$  para el modelo 2, el examen de los IC del 95% de los parámetros del modelo y la similitud entre estos modelos, seleccionamos el modelo 2 como el que mejor se ajusta a los datos. La tabla 3 muestra las estimaciones de los parámetros del modelo 2. Debido a las dificultades para interpretar los efectos individuales de las variables implicadas en una interacción fiable, no los discutimos.

---

<sup>2</sup> En los modelos de tiempos de actualización y proporción de correctas se examinó la posibilidad de que existieran diferencias por género. Los análisis indicaron que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre hombres y mujeres. Además, a solicitud del Tribunal Examinador, se evaluó si los grupos diferían en términos del autoreporte de la cantidad de horas de actividad física semanal. Mediante un Análisis de Varianza se demostró que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los grupos.

Como se predijo, la covariable mostró una influencia positiva y fiable en los tiempos de actualización (véanse los IC del 95% en la Tabla 3). En cuanto a las estimaciones de los parámetros de la interacción entre CC y CF, la tabla muestra que el término  $C$  vs  $Ex * Mixtas-Rojas$  vs  $Negras$  no incluyó cero en sus IC al 95%. Este término prueba si los grupos de control comparados con los grupos de ejercicio difieren en las diferencias de tiempos de actualización entre flechas mixtas y rojas (como una condición) y flechas negras. En concreto, este parámetro sugería que las diferencias de tiempos de actualización entre las flechas Mixtas-Rojas (como una condición) y las flechas Negras eran mayores para los grupos de control (como un grupo). El término  $C_{30}$  vs  $C_{60} * Mixtas-Rojas$  vs  $Negras$  indicaba que las diferencias de tiempos de respuesta entre las flechas Mixtas-Rojas y Negras eran mayores para  $C_{30}$  que para  $C_{60}$ . Del mismo modo, el término  $Ex_{30}$  vs  $Ex_{60} * Mixtas-Rojas$  vs  $Negras$  indicaba que las diferencias de tiempos de actualización entre las flechas Mixtas-Rojas y las flechas Negras eran mayores para el  $Ex_{30}$ . En cuanto a las diferencias de tiempos de respuesta entre las flechas Mixtas y Rojas, fueron mayores para los grupos de control que para los grupos de ejercicio (véase la estimación para  $C$  vs  $Ex * Rojas$  vs  $Mixtas$ ). El mismo caso se dio para las diferencias de tiempo de actualización entre las flechas Rojas y Mixtas, el grupo  $C_{30}$  mostró mayores diferencias que el grupo  $C_{60}$ . Por último, las diferencias de tiempo de actualización, entre las condiciones de ejercicio en las flechas Mixtas y Rojas ( $Ex_{30}$  vs  $Ex_{60} * Rojas$  vs  $Mixtas$ ) fueron similares (Ver Figura 4).

### **Análisis de proporción de correctas**

La inspección visual del panel A de la Figura 5 sugirió una fuerte relación lineal entre la PC en el pretest y el postest ( $r = .81, p < .001$ ). En el panel B de la Figura 5, los IC del 95% para la PC se solapaban entre sí, lo que sugería que no había diferencias entre las condiciones experimentales. En el panel C de la Figura 5, no se encontraron diferencias en la PC entre las flechas Mixtas y Rojas (como una condición) y las flechas Negras (véanse los IC al 95% dentro de los sujetos). En este mismo panel, hubo un efecto límite tras comparar flechas Rojas y flecha Negra. Esto significa que la PC fue mayor en los ensayos que sólo incluían flechas Rojas que en los ensayos que cambiaban de flecha Roja a flecha Negra o viceversa. Sin embargo, este resultado debe analizarse con cautela porque se incluyó el cero en sus IC del 95%. En el panel D de la Figura 5 se obtuvo un efecto principal significativo

sobre la CC. Según la figura, en la condición de  $CC_{Baja}$  la PC fue mayor que en la condición de  $CC_{Alta}$ .

El panel inferior de la Tabla 2 ofrece el  $\Delta AIC$  para los modelos que examinan la PC. El  $\Delta AIC$  apoyó el modelo 3 y dio menos apoyo al modelo 2. En este último modelo, la covariable (es decir, la PC en el pretest) y algunos de los parámetros sobre CF incluían cero en sus IC al 95% (datos no reportados). Así, excluyendo este efecto principal no fiable, el modelo 3 se parecía al modelo 2. En el modelo 3, la covariable y 1 de los 3 términos de la interacción entre CE y CC eran diferentes de cero (datos no reportados). Por tanto, teniendo en cuenta el apoyo del  $\Delta AIC$  para el modelo 3, el examen de los IC del 95% de los parámetros del modelo y la similitud entre estos modelos, seleccionamos el modelo 3 como el que mejor se ajusta a los datos. La tabla 4 muestra las estimaciones de los parámetros del modelo 3. Debido a las dificultades para interpretar los efectos individuales de las variables implicadas en una interacción fiable, no los discutimos. Como se predijo, la covariable mostró una influencia positiva y fiable en la PC (véanse los IC del 95% en la Tabla 4). En cuanto a las estimaciones de los parámetros de la interacción entre CE y CC, la tabla muestra que el término *C<sub>30</sub> vs C<sub>60</sub> \* Baja vs Alta Ex<sub>30</sub> vs Ex<sub>60</sub> \* Baja vs Alta* incluye cero en sus IC al 95%. El término *C vs Ex \* Baja vs Alta* indica que el rendimiento en los ensayos de  $CC_{Alta}$  y  $CC_{Baja}$  fue el mismo en las condiciones de ejercicio a los 30 y 60 minutos post-intervención, sin embargo, para la condición control el rendimiento en  $CC_{Baja}$  fue mejor que en  $CC_{Alta}$  a los 30 y 60 minutos (Ver Figura 6).

**Tabla 2.** Estimaciones de los parámetros del modelo de tiempo de actualización en la Tarea de Actualización de la Memoria de Trabajo Visoespacial basadas en el  $\Delta$ AIC.

#	Efectos Fijos	GL	AIC	$\Delta$ AIC	Devianza
Modelos de tiempo de actualización					
1	PREcov_ta, CC * CF, EC * CF	10	629827	5.417	629789
2	PREcov_ta, CE * CF	16	629822	<b>0.000</b>	629790
3	PREcov_ta, CE, CF	19	629835	13.010	629815
4	Nulo	4	630136	313.653	630128
Modelos de proporción de correctas					
1	PREcov_pc, CE * CC, EC * CF	9	2501.1	7.05	2461.1
2	PREcov_pc, CE * CC, CF	12	2494.3	0.21	2466.3
3	PREcov_pc, CE * CC	14	2494.1	<b>0.00</b>	2470.1
4	PREcov_pc, CE, CC	20	2497.9	3.89	2479.9
5	Nulo	4	2819.2	325.19	2662.5

*Nota.* Argumento = covariable pretest de tiempo de actualización (PREcov\_ta), carga cognitiva (CC), condiciones de flecha (CF), condición experimental (CE) y covariable pretest de proporción de correctas (PREcov\_pc), GL. = grado de libertad; AIC = criterio de información de Akaike;  $\Delta$ AIC = diferencias entre el modelo ganador y el resto de modelos.

**Tabla 3.** Estimaciones de los parámetros del modelo de tiempo de actualización de la Tarea de Actualización de la Memoria de Trabajo Visoespacial basadas en  $\Delta AIC$

Efecto	Parámetros	Estimado	95% IC	<i>t</i> ( <i>p</i> -value)
		Tiempo de actualización		
Intercepto	<i>Intercepto</i>	28.042	[-62.285, 118.358]	0.612 (0.541)
Pendiente de <i>Covariada</i>	<i>PREcov_ta</i>	0.895	[0.829, 0.961]	26.777 (<.001)
Pendiente	<i>C vs Ex</i>	-2.424	[-12.740, 7.890]	-0.463 (0.643)
Pendiente	<i>C<sub>30</sub> vs C<sub>60</sub></i>	2.961	[-11.743, 17.665]	0.397 (0.691)
Pendiente	<i>Ex<sub>30</sub> vs Ex<sub>60</sub></i>	12.633	[-1.797, 27.063]	1.726 (0.086)
Pendiente	<i>Mixtas-Rojas vs Negras</i>	51.229	[38.954, 63.505]	8.432 (<.001)
Pendiente	<i>Rojas vs Mixtas</i>	-17.869	[-37.615, 1.877]	-1.828 (0.076)
Interacción 1	<i>C vs Ex * Mixtas-Rojas vs Negras</i>	2.586	[0.320, 4.852]	2.237 (<.05)
Interacción 2	<i>C<sub>30</sub> vs C<sub>60</sub> * Mixtas-Rojas vs Negras</i>	3.731	[0.498, 6.964]	2.263 (<.05)
Interacción 3	<i>Ex<sub>30</sub> vs Ex<sub>60</sub> * Mixtas-Rojas vs Negras</i>	3.598	[0.422, 6.775]	2.221 (<.05)
Interacción 4	<i>C vs Ex * Rojas vs Mixtas</i>	-4.312	[-7.977, -0.646]	-2.306 (<.05)
Interacción 5	<i>C<sub>30</sub> vs C<sub>60</sub> * Rojas vs Mixtas</i>	-7.148	[-12.376, -1.920]	-2.680 (<.01)
Interacción 6	<i>Ex<sub>30</sub> vs Ex<sub>60</sub> * Rojas vs Mixtas</i>	-4.813	[-9.953, 0.325]	-1.836 (0.066)

Nota. Covariable = covariable pretest del tiempo de actualización (*PREcov\_ta*), *Condición Experimental 1* = Ejercicio (*Ex*) y Control (*C*), *Condición Experimental 2* = Control por 30-min posttest y purbea 30-min más tarde (*C<sub>30</sub>*) y Control por 30-min y posttest 60-min más tarde (*C<sub>60</sub>*), *Condición Experimental 3* = Ejercicio por 30 minutos y descanso de 30 minutos antes de la prueba (*Ex<sub>30</sub>*) y Ejercicio por 30 minutos y descanso de 60 minutos antes de la prueba (*Ex<sub>60</sub>*), *Flecha Condición 1* = Mixto (*M*), Rojo (*R*) y Negro (*N*), *Flecha Condición 2* = Mixto (*M*) y Rojo (*R*), *Ex vs C* = contrastes (i.e., diferencias) entre Ejercicio y Control, *C<sub>30</sub> vs C<sub>60</sub>* = contrastes (i.e., diferencias) entre Control por 30-min y posttest 30-min más tarde y Control por 30-min y posttest 60-min más tarde, *Ex<sub>30</sub> vs Ex<sub>60</sub>* = contrastes (i.e., diferencias) entre Ejercicio por 30-min y posttest 30-min más tarde y Ejercicio por 30-min y posttest 60-min más tarde, *M-R vs N* = contrastes (i.e., diferencias) entre Mixto, Rojo y Negro, *M-R* = contrastes (i.e., diferencias) entre Mixto y Rojo, *Ex vs C \* M-R vs N* = contrastes (i.e., diferencias) entre Ejercicio, Control, Mixto, Rojo y Negro, *C<sub>30</sub> vs C<sub>60</sub> \* M-R vs N* = contrastes (es decir, *M-R vs N* = contrastes (i.e., diferencias) entre Ejercicio para 30 minutos posttest 30 minutos después, Control para 30 minutos posttest 60 minutos después, Mixto, Rojo y Negro, *Ex<sub>30</sub> vs Ex<sub>60</sub> \* M-R vs N* = contrastes (i.e., diferencias) entre Ejercicio para 30 minutos posttest 30 minutos después, Ejercicio para 30 minutos posttest 60 minutos después, Mixto, Rojo y Negro, *Ex vs C \* M vs R* = contrastes (i.e., diferencias)

entre Ejercicio, Control, Mixto y Rojo,  $C_{30}$  vs  $C_{60}$  \*  $M$  vs  $R$  = contrastes (i.e., diferencias) entre Control para 30-min posttest 30-min más tarde, Control para 30-min posttest 60-min más tarde, Mixto y Rojo,  $Ex_{30}$  vs  $Ex_{60}$  \*  $M$  vs  $R$  = contrastes (i.e., diferencias) entre Ejercicio para 30-min posttest 30-min más tarde, Ejercicio para 30-min posttest 60-min más tarde, Mixto y Rojo.

Efectos aleatorios para el modelo de Tiempo de actualización. Intercepto aleatorio para los sujetos = 61.95 (desviación estándar), intervalo de confianza [IC] del 95% = 55.083, 70.128; Intercepto aleatorio para el ensayo = 42.72 (desviación estándar), intervalo de confianza [IC] del 95% = 33.676, 56.235; Intercepto aleatorio para los residuos = 307.92 (desviación estándar), intervalo de confianza [IC] del 95% = 305.889, 309.966.

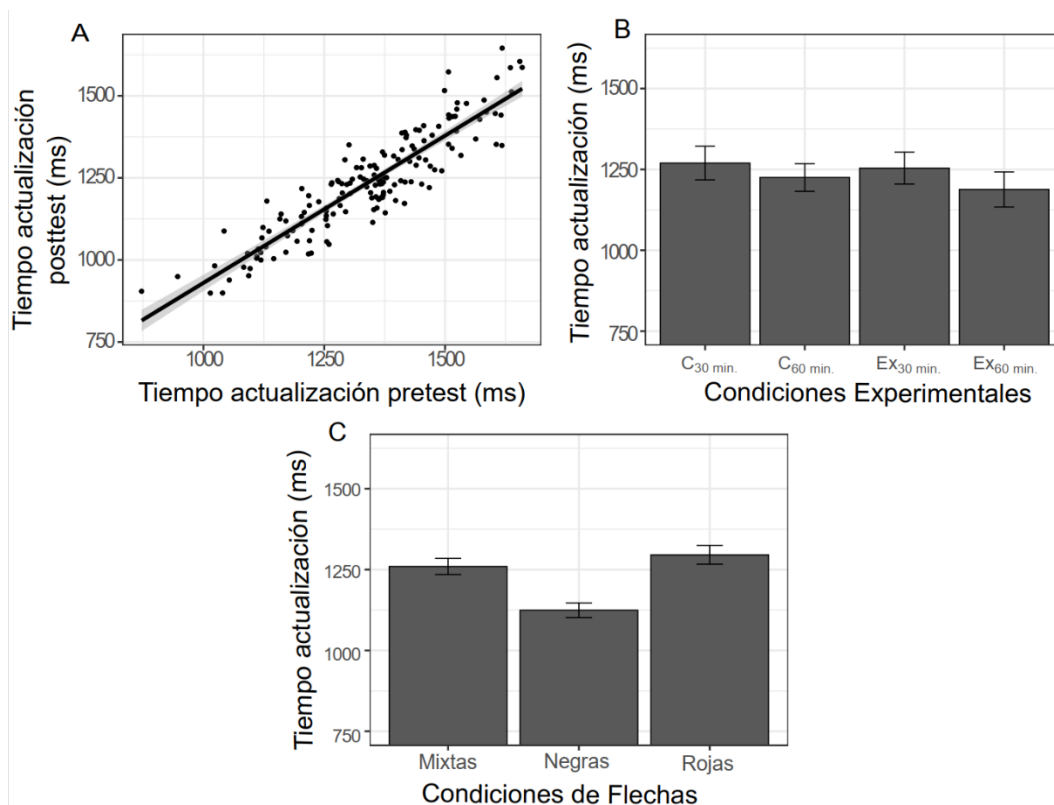


Figura 3. Resumen del modelo de tiempo de actualización de la Tarea de Actualización de la Memoria de Trabajo Visoespacial. (a) Diagrama de dispersión que muestra la relación significativa en el tiempo de actualización entre el pretest y el posttest. (b) Ningún efecto principal significativo en el tiempo de actualización para ninguna de las condiciones experimentales (i.e., C<sub>30</sub>, C<sub>60</sub>, Ex<sub>30</sub>, and Ex<sub>60</sub>). (c) No hay diferencias significativas en el tiempo de actualización entre las flechas mixtas y rojas, pero sí entre las flechas negras y las flechas mixtas y rojas. ms = milisegundos; C<sub>30</sub> = video de control 30 minutos después; C<sub>60</sub> = video de control 60 minutos después; Ex<sub>30</sub> = ejercicio 30 minutos después; Ex<sub>60</sub> = ejercicio experimental 60 minutos después. Los valores son medias  $\pm$  IC. *Nota*: las barras representan los intervalos de confianza del 95% intra-sujetos que se calcularon siguiendo el método propuesto por Morey (2008).

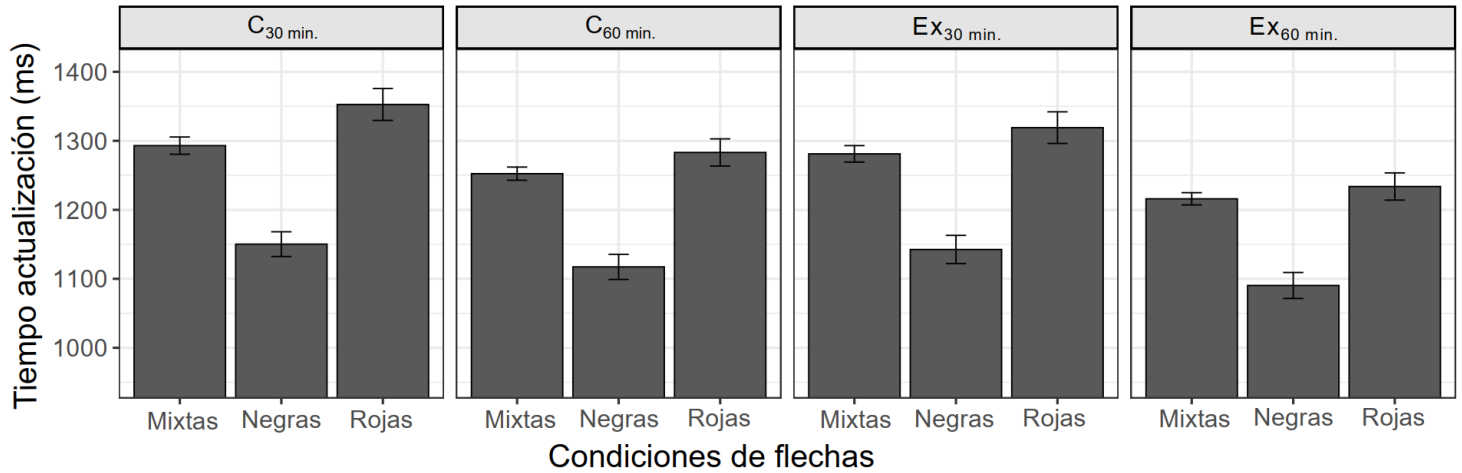


Figura 4. Visualización del término de interacción entre las condiciones experimentales y las condiciones de las flechas (es decir, mixtas, negras y rojas). ms = milisegundos; C<sub>30</sub> = video de control 30 minutos después; C<sub>60</sub> = video de control 60 minutos después; EX<sub>30</sub> = ejercicio 30 minutos después; EX<sub>60</sub> = ejercicio experimental 60 minutos después. Los valores son medias  $\pm$  IC. *Nota*: las barras representan los intervalos de confianza del 95% intra-sujetos que se calcularon siguiendo el método propuesto por Morey (2008).

**Tabla 4.** Estimaciones de los parámetros del modelo proporción de correctas de la Tarea de Actualización de la Memoria de Trabajo Visoespacial basadas en  $\Delta AIC$

Efecto	Parámetros	Estimado	95% IC	<i>t</i> ( <i>p</i> -value)
		Proporción de correctas		
Intercepto	<i>Intercepto</i>	0.185	[0.133, 0.238]	7.006 (<.001)
Pendiente de <i>Covariada</i>	<i>PREcov_pc</i>	0.840	[0.746, 0.935]	17.522 (<.001)
Pendiente	<i>Ex vs C</i>	-0.001	[-0.019, 0.015]	-0.218 (0.828)
Pendiente	<i>C<sub>30</sub> vs C<sub>60</sub></i>	0.014	[-0.009, 0.039]	1.177 (0.241)
Pendiente	<i>Ex<sub>30</sub> vs Ex<sub>60</sub></i>	-0.009	[-0.033, 0.014]	-0.771 (0.441)
Pendiente	<i>CC<sub>Baja</sub> vs CC<sub>Alta</sub></i>	0.032	[0.016, 0.048]	4.198 (<.001)
Pendiente	<i>Mixtas-Rojas vs Negras</i>	0.004	[-0.007, 0.016]	0.731 (0.469)
Intercepto	<i>Mixtas vs Rojas</i>	-0.019	[-0.039, 0.000]	-1.985 (0.055)
Interacción 1	<i>Ex vs C * CC<sub>Baja</sub> vs CC<sub>Alta</sub></i>	0.013	[0.004, 0.021]	3.057 (<.01)
Interacción 2	<i>C<sub>30</sub> vs C<sub>60</sub> * CC<sub>Baja</sub> vs CC<sub>Alta</sub></i>	-0.003	[-0.015, 0.008]	-0.580 (0.561)
Interacción 3	<i>Ex<sub>30</sub> vs Ex<sub>60</sub> * CC<sub>Baja</sub> vs CC<sub>Alta</sub></i>	0.001	[-0.009, 0.013]	0.287 (0.774)

Nota. Covariable = covariable de proporción de correctas (*PREcov\_pc*), *Condición Experimental 1*= Ejercicio (Ex) y Control (C), *Condición Experimental 2*= Control para 30-min posttest 30-min más tarde (*C<sub>30</sub>*) y Control para 30-min posttest 60-min más tarde (*C<sub>60</sub>*), *Condición Experimental 3*=Ejercicio para 30 minutos después de la prueba (*Ex<sub>30</sub>*) y Ejercicio para 30 minutos después de la prueba 60 minutos (*Ex<sub>60</sub>*), *Carga cognitiva* =Baja (*CC<sub>Baja</sub>*) y Alta (*CC<sub>Alta</sub>*), *Flecha Condición 1* = Mixta (M), Roja (R) y Negra (N), *Flecha Condición 2* = Mixta (M) y Roja (R), *Ex vs C \* B vs A*= contrastes (i.e., diferencias) entre Ejercicio, Control, Bajo y Alto, *C<sub>30</sub> vs C<sub>60</sub> \* CC* = contrastes (i.e., diferencias) entre Control por 30-min y posttest 30-min más tarde, Control por 30-min y posttest 60-min más tarde, Bajo y Alto, *Ex<sub>30</sub> vs Ex<sub>60</sub> \* B vs A* = contrastes (i.e., diferencias) entre Ejercicio por 30-min y posttest 30-min más tarde, Ejercicio por 30-min y posttest 60-min más tarde, Bajo y Alto.

Efectos aleatorios para el modelo de Proporción de correctas. Intercepto aleatorio para los sujetos = 0.095 (desviación estándar), intervalo de confianza [IC] del 95% = 0.082, 0.110; Intercepto aleatorio para el ensayo = 0.036 (desviación estándar), intervalo de confianza [IC] del 95% = 0.025, 0.051; Intercepto aleatorio para los residuos = 0.301 (desviación estándar), intervalo de confianza [IC] del 95% = 0.295, 0.307.

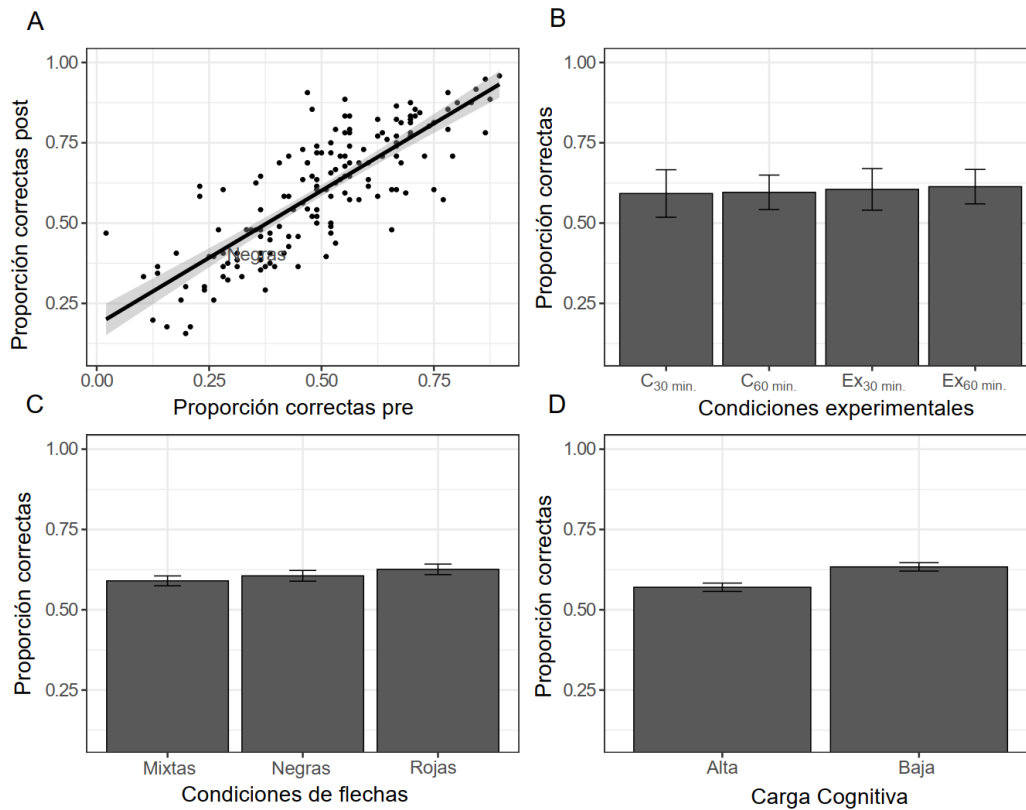


Figura 5. Resumen del modelo de proporción de correctas de Tarea de Actualización de la Memoria de Trabajo Visoespacial. (a) Un diagrama de dispersión que muestra la relación significativa en la proporción de correctas entre pretest y postest. (b) Ningún efecto principal significativo en la proporción de correctas para ninguna de las condiciones experimentales (es decir, C<sub>30</sub>, C<sub>60</sub>, EX<sub>30</sub> y EX<sub>60</sub>). (c) Ningún efecto principal significativo en la proporción de correctas para ninguna de las condiciones de flecha (es decir, mixta, negra y roja). (d) Un efecto principal significativo en la proporción de correctas para la carga cognitiva (alta y baja). C<sub>30</sub> = video de control 30 minutos después; C<sub>60</sub> = video de control 60 minutos después; EX<sub>30</sub> = ejercicio 30 minutos después; EX<sub>60</sub> = ejercicio experimental 60 minutos después. Los valores son medias  $\pm$  IC. *Nota:* las barras representan los intervalos de confianza del 95% intra-sujetos que se calcularon siguiendo el método propuesto por Morey (2008).

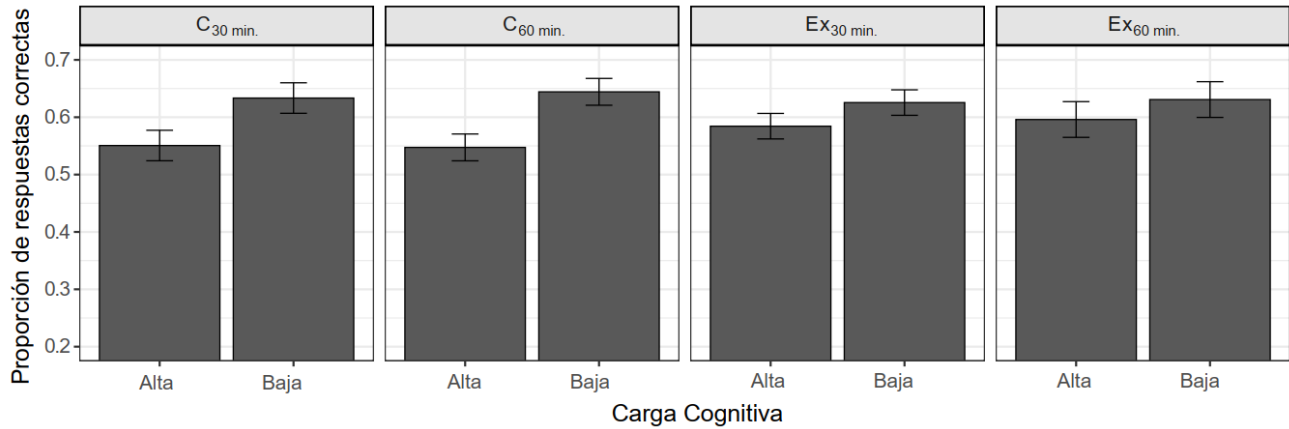


Figura 6. Visualización del término de interacción entre las condiciones experimentales y las condiciones de carga cognitiva (alta y baja). C<sub>30</sub> = video de control 30 minutos después; C<sub>60</sub> = video de control 60 minutos después; EX<sub>30</sub> = ejercicio 30 minutos después; EX<sub>60</sub> = ejercicio experimental 60 minutos después. Los valores son medias  $\pm$  IC. *Nota:* las barras representan los intervalos de confianza del 95% intra-sujetos que se calcularon siguiendo el método propuesto por Morey (2008).

## Discusión

El objetivo principal de este estudio fue examinar los efectos de una sesión de ejercicio aeróbico de intensidad moderada sobre la PC y el tiempo de actualización en nuestra Tarea de Actualización de MdT Visuoespacial considerando las condiciones de CC y flecha (es decir, moverse en la misma o dirección opuesta). Se planteó la hipótesis de que los grupos de ejercicio (EX<sub>30</sub> y EX<sub>60</sub>) obtendrían una mayor PC y tiempos de actualización más rápidos en los ensayos CC<sub>Baja</sub> y CC<sub>Alta</sub> durante la Tarea de actualización de la MdT Visuoespacial comparado con las condiciones controles. Además, se consideró que en los ensayos donde las flechas cambiaban de color (es decir, cambio de tarea), los grupos de ejercicio (EX<sub>30</sub> y EX<sub>60</sub>) presentarían un mejor rendimiento tanto en PC como en tiempos de actualización comparado con C<sub>30</sub> y C<sub>60</sub>. Por último, dado que no existe previa evidencia de TBRs previo y después de la realización de una sesión de ejercicio se esperaba que el rendimiento (i.e., PC y tiempos de actualización) fuera mejor para las condiciones de ejercicio (EX<sub>30</sub> y EX<sub>60</sub>) comparado con los controles (C<sub>30</sub> y C<sub>60</sub>). Los principales hallazgos de este estudio fueron: (i) No se hallaron efectos principales en PC y tiempo de actualización a los 30 min o 60 min posterior al ejercicio y condición control. (ii) Se encontró una interacción estadísticamente significativa entre tipo de flecha (es decir, roja o negra) y las condiciones experimentales (es decir, ejercicio y control). Específicamente, flechas que requerían un mayor procesamiento cognitivo (es decir, rojas y mixtas) no mostraron diferencias significativas en el tiempo de actualización en ambos grupos de ejercicio. Sin embargo, C<sub>30</sub> presentó un tiempo de actualización más lento en las flechas rojas y mixtas en comparación con C<sub>60</sub>. No hubo diferencias en la PC considerando las condiciones de las flechas para ninguna de las condiciones experimentales. (iii) Se halló una interacción significativa entre condiciones experimentales y CC. En detalle, ambos grupos de ejercicio (EX<sub>30</sub> y EX<sub>60</sub>) presentaron puntuaciones similares en PC en condiciones de CC<sub>Baja</sub> y CC<sub>Alta</sub>. Los grupos control (C<sub>30</sub> y C<sub>60</sub>) puntuaron mejor en los ensayos CC<sub>Baja</sub> en comparación con los ensayos CC<sub>Alta</sub>.

La mayor parte de la literatura sobre ejercicio y cognición se ha centrado en niños y adultos mayores para estudiar los beneficios en su desarrollo cognitivo o el retraso en el proceso de deterioro cognitivo, respectivamente (Alghadir et al., 2016; Best, 2010; Chen et al., 2016; Hsieh et al., 2016, 2018; Zheng et al., 2016). Los metaanálisis han resaltado un efecto moderador de la edad en los estudios de ejercicio y cognición, lo que lleva la atención a los niños, los adolescentes jóvenes y los adultos mayores en lugar de a los adultos jóvenes (Y. K. Chang et al., 2012; Ludyga et al., 2018). Otra posible razón de la falta de estudios en adultos jóvenes es el efecto techo sobre la cognición que puede esconder los beneficios del ejercicio (Hillman et al., 2008; Ho et al., 2018; Salthouse & Davis, 2006). Sin embargo, Pontifex et al. (2009) demostraron que adultos jóvenes que corrían entre el 60 % y el 70 % del VO<sub>2</sub>máx se desempeñaron mejor en el tiempo de reacción en tareas de MdT de alta demanda cognitiva inmediatamente y 30 min después en comparación con un grupo control sentado y un grupo de entrenamiento de fuerza. En otro estudio, Ji et al. (2017) reclutaron una muestra de adultos jóvenes que hacían ejercicio durante 30 min a una intensidad moderada (60 % FC<sub>R</sub>). Informaron que se notó una reducción significativa en el tiempo de reacción en el *n*-back 2 posterior a 30 minutos de reposo. Más recientemente, Ludyga et al. (2018) y Mou et al. (2022) no encontraron un efecto significativo en un *n*-back 2 o un *n*-back 2 espacial, respectivamente, después de un ejercicio de intensidad moderada en el que ambos duraron 20 min. Es de destacar que en estos últimos estudios la duración de la sesión de 20 min

no arrojó un hallazgo significativo, sin embargo, en Pontifex et al. (2009) y Ji et al. (2017) una sesión de 30 min tuvo un efecto positivo. Estas discrepancias pueden haber sido abordadas anteriormente por Lambourne y Tomporowski (2010), quienes afirmaron que se requieren más de 20 minutos para facilitar los procesos cognitivos.

Hasta la fecha, no se ha realizado ningún estudio que considere el efecto moderador del ejercicio sobre la PC y el tiempo de actualización utilizando un *proxy* de la CC basada en la TBRS (Barrouillet et al., 2007, 2009, 2011). Los estudios en tareas duales han dilucidado algunos de los mecanismos neurofisiológicos (p. ej., electroencefalografía [EEG] y el componente P3) a través de los cuales el ejercicio puede afectar la MdT. La amplitud del componente P3 está asociada con una mayor asignación de recursos y, por lo tanto, puede beneficiar la actualización del contenido del procesamiento en MdT (Polich, 2007; Saliassi et al., 2013). Kao et al. (2020) demostraron que 20 min de ejercicio moderado en adultos jóvenes provocan una mayor amplitud de P3 en la tarea *n*-back en comparación con una condición de control después de 30 min de cada tratamiento. Además, en Kao et al. (2020) y Kao et al. (2021) consideraron la desincronización relacionada con eventos (ERD) como un marcador de la demanda de memoria. El ERD se basa en bandas alfa y beta, en las que los aumentos en la banda alfa se asocian con una mayor activación neuronal. Kao et al. (2020) encontraron una mayor onda alfa en las áreas frontales en la tarea de *n*-back 2 en comparación con la tarea de *n*-back 1 en la condición de ejercicio. Kao et al. (2021) probaron el ERD en condiciones de 3, 5 y 7 letras. Las evaluaciones se realizaron 25 minutos después de una condición de control, entrenamiento interválico de intensidad moderada y alta intensidad. Los investigadores encontraron señales de frecuencia alfa más altas al comparar la condición de 7 letras con la condición de 3 letras en ambos tratamientos de ejercicio. La condición de alta intensidad demostró un rango de frecuencia más alto durante la recuperación de la información, lo que significa una mayor asignación de recursos para las tareas altamente exigentes. Los resultados de la evidencia previamente demostrada sugieren que hacer ejercicio conlleva a cambios transitorios neurofisiológicos que contribuirían a la mejora de los procesos cognitivos. En nuestro caso EN particular dichos cambios momentáneos ocasionados por la realización de ejercicio pueden explicar que durante los ensayos de CC<sub>Alta</sub> no hubiese una disminución significativa en la PC cuando se compararon con ensayos de CC<sub>Baja</sub>. Lo anterior es un hallazgo relevante ya que la teoría detrás de la TBRS sugiere que en ensayos de CC<sub>Alta</sub> el rendimiento en PC será menor, pues los participantes tienen menos tiempo para procesar la información y, además, los periodos de refrescamiento de la memoranda son más cortos. En los grupos control, la PC fue significativamente menor en los de ensayos de CC<sub>Alta</sub> comparada con los de CC<sub>Baja</sub>, lo cual aporta aún más evidencia del posible aporte positivo proveniente del ejercicio.

El efecto del ejercicio en las condiciones de flecha podría analizarse desde una perspectiva de funciones ejecutivas. Las funciones ejecutivas son una habilidad cognitiva de nivel superior relacionada con el autocontrol y la resolución de problemas (Miyake et al., 2000). La tarea realizada en este estudio contó con dos colores de flecha diferentes que podían presentarse como solo negro (actualización), solo rojo (inhibición) o una combinación de negros y rojos (cambio de tarea). La inhibición (es decir, reemplazar las respuestas que son predominantes en una situación dada) y el cambio de tarea (es decir, cambiar entre diferentes tareas siguiendo algunas reglas) son más exigentes cognitivamente que la actualización (Friedman & Robbins, 2022; Miyake et al., 2000), lo que significa que puede esperarse un tiempo de actualización más largo. El tiempo de

actualización en nuestro estudio fue mayor para las flechas rojas en comparación con las flechas mixtas y solo las flechas negras, y para las flechas mixtas en comparación con las flechas negras únicamente. Una inspección más cercana a la tabla 4 y la figura 5 proporciona un hallazgo interesante con respecto al efecto del ejercicio en las condiciones de flecha, ya que no se informó ningún efecto para las flechas mixtas y rojas después de 30 min o 60 min. Este hallazgo podría atribuirse a la mejora en la asignación de recursos que otorga el ejercicio y que beneficia a la MdT (Kao et al., 2022). Los estudios sobre el cambio de tarea y la inhibición han postulado un papel importante de MdT para mantener activos los estímulos y las reglas en la memoria durante más tiempo, especialmente en tareas más exigentes (Bae & Masaki, 2019; Goffaux et al., 2006; Jost et al., 2008; Redick et al., 2007; Robert et al., 2009; Traverso et al., 2015). Para los grupos de control, el C<sub>60</sub> se desempeñó mejor que el C<sub>30</sub>, se requerirán más estudios para comprender este posible efecto y qué mecanismo puede sustentarlo.

Aunque en este estudio no se evaluaron los mecanismos neurobiológicos, algunos mecanismos se han sugerido como responsables de la mejora del rendimiento cognitivo después de una serie aguda de ejercicio, ya que es probable que modifiquen la actividad de la corteza prefrontal (PFC) y el hipocampo (Aadland et al., 2017; Best, 2010). El ejercicio se ha asociado con aumentos en los niveles de *arousal* (vigilia en español), lo que en parte respalda la asignación de recursos de atención a procesos cognitivos más relevantes y ayuda a mantener el estímulo en un estado más activo (Fimm et al., 2015; Kim et al., 2017; Sudo et al., 2022; Yerkes & Dodson, 1908). El ejercicio recluta varios mecanismos neurobiológicos que persisten durante algunos minutos (p. ej., flujo sanguíneo cerebral y neurotransmisores; Ando, 2016; McMorris et al., 2016) o permanecen activos durante un período de tiempo más largo después de su cese (p. ej., factor neurotrófico derivado del cerebro [BDNF], e irisina; Papp et al., 2017; Walsh & Tschakovsky, 2018). Por ejemplo, BDNF en PFC podría ayudar a alcanzar el umbral y hacer que las neuronas disparen fácilmente (Galloway et al., 2008). Los hallazgos han demostrado que los niveles de BDNF permanecen elevados durante 30 minutos a 60 minutos (Etnier et al., 2016; Seifert et al., 2010; Walsh & Tschakovsky, 2018). En otro estudio se ha reportado una fuerte asociación entre BDNF y la mejora de la cognición (Piepmeier & Etnier, 2015). Por otro lado, las mioquinas son sustancias que comunican la periferia con el sistema nervioso central. La irisina es una mioquina que se ha correlacionado con mejoras en la MdT ya que desencadena la síntesis de BDNF dentro del cerebro (Papp et al., 2017; Park et al., 2022) y vuelve a los niveles basales después de 1 hora aproximadamente (Fox et al., 2018; Qiu et al., 2018). Es necesario a futuro investigar si esos mismo posibles mecanismos u otros son los que explican el beneficio del ejercicio específicamente en CC.

La literatura con relación al ejercicio y la MdT es muy variada en términos de metodología y pruebas cognitivas utilizadas. Por ejemplo, se han implementado diferentes protocolos de duración para el ejercicio y anteriormente se mencionó que se recomienda más de 20 minutos para obtener una mejora (Lambourne y Tomporowski, 2010). Por lo tanto, implementamos un protocolo de ejercicio de 30 minutos considerando hipótesis sobre la liberación de neurotransmisores y factores neurotróficos (Walsh & Tschakovsky, 2018; Zhu et al., 2023). En segundo lugar, los efectos posteriores al cese del ejercicio se han evaluado en múltiples momentos, sin embargo, algunos autores sugieren que una ventana de tiempo entre 10 min y 30 min es apropiada para permitir que los sistemas y procesos biológicos se estabilicen y de esa manera impulsar los

procesos cognitivos (Brutvan et al., 2016; Crush & Loprinzi, 2017; Kao et al., 2020, 2021). Un tercer punto por considerar son la variedad de pruebas para medir MdT (por ejemplo, *n*-back Test, *n*-back task facial, amplitud de dígitos y prueba de Sternberg) que no permite hacer comparaciones y llegar a conclusiones más sólidas. En este estudio, implementamos una tarea que nos permitió controlar cuidadosamente el tiempo de codificación y actualización, y la proporción de tiempo libre para actualizar la memoranda. Todo lo anterior manipulado por dos condiciones, CC<sub>Alta</sub> (tiempo de actualización x 0.15) y CC<sub>Baja</sub> (tiempo de actualización x 1.7). El último factor por considerar es la población, ya que la literatura respalda firmemente la investigación en niños y adultos mayores por la etapa opuesta de modificaciones neuronales (Bae & Masaki, 2019; Tsai et al., 2016). Sin embargo, comprender los cambios en adultos jóvenes puede proporcionar nueva información sobre cómo los procesos cognitivos se modifican y se mantienen a lo largo del tiempo.

Hay algunas limitaciones que se presentaron en este estudio que investigaciones futuras podrían evitar. Todas las intervenciones deben realizarse a la misma hora del día (es decir, mañana, tarde, noche) ya que los hallazgos previos en estudios con animales y humanos sugieren una variabilidad según la hora (Dai et al., 2019; D. S. Hwang et al., 2016). Calcular el umbral de ejercicio de intensidad moderada utilizando la fórmula de Karvonen pudo haber conducido a una sobreestimación de este valor (Rocha et al., 2019) a pesar de que se ha citado en estudios previos para el rendimiento cognitivo (Alghadir et al., 2016; Smith et al., 2016) y ayuda para tener en cuenta las posibles variaciones de la frecuencia cardíaca considerando los niveles de condición física (Smith et al., 2016). No se realizó ninguna estimación de VO<sub>2</sub>máx ya que estos datos se recopilaron durante la pandemia; sin embargo, la literatura ha identificado consistentemente una correlación entre valores más altos de VO<sub>2</sub>máx y un mejor rendimiento en tareas cognitivas. Por lo tanto, este debería ser un punto principal por considerar (Hwang et al., 2017).

En conclusión, 30 minutos de ejercicio agudo de intensidad moderada en poblaciones de adultos jóvenes redujeron el posible efecto desfavorable de la CC en PC (es decir, un mejor rendimiento) a los 30 minutos y 60 minutos después de la realización del ejercicio, pero no en condiciones de control. Se informó un hallazgo similar en el tiempo de actualización para las flechas rojas y mixtas. A los 30 min y 60 min después del ejercicio no hubo diferencias en el tiempo de actualización para ninguna de las condiciones de ejercicio; sin embargo, C<sub>60</sub> tuvo un mejor desempeño que C<sub>30</sub> en las pruebas mixtas y con flechas rojas.

## Referencias

- Aadland, K. N., Moe, V. F., Aadland, E., Anderssen, S. A., Resaland, G. K., & Ommundsen, Y. (2017). Relationships between physical activity, sedentary time, aerobic fitness, motor skills and executive function and academic performance in children. *Mental Health and Physical Activity*, *12*, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2017.01.001>
- Alghadir, A. H., Gabr, S. A., & Al-Eisa, E. S. (2016). Effects of Moderate Aerobic Exercise on Cognitive Abilities and Redox State Biomarkers in Older Adults. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, *2016*, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2016/2545168>
- American College of Sports. (2013). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (Edición: 9th edition).
- Ando, S. (2016). Chapter 6 - Acute Exercise and Cognition: Effects of Cerebral Oxygenation and Blood Flow. In T. McMorris (Ed.), *Exercise-Cognition Interaction* (pp. 131–145). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800778-5.00006-2>
- Ando, S., Komiyama, T., Sudo, M., Higaki, Y., Ishida, K., Costello, J. T., & Katayama, K. (2020). The interactive effects of acute exercise and hypoxia on cognitive performance: A narrative review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *30*(3), 384–398. <https://doi.org/10.1111/sms.13573>
- Bae, S., & Masaki, H. (2019). Effects of Acute Aerobic Exercise on Cognitive Flexibility Required During Task-Switching Paradigm. *Frontiers in Human Neuroscience*, *13*, 260. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00260>
- Barrouillet, P., Bernardin, S., Portrat, S., Vergauwe, E., & Camos, V. (2007). Time and cognitive load in working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *33*(3), 570–585. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.33.3.570>
- Barrouillet, P., Gavens, N., Vergauwe, E., Gaillard, V., & Camos, V. (2009). Working memory span development: A time-based resource-sharing model account. *Developmental Psychology*, *45*(2), 477–490. <https://doi.org/10.1037/a0014615>
- Barrouillet, P., Genève, U. D., Portrat, S., Bourgoigne, U. D., & Camos, V. (2011). On the law relating processing to storage in working Memory. *Psychological Review*, 175–192. <https://doi.org/10.1037/a0022324>
- Bates, D., Maechler, M., Bolker [aut, B., cre, Walker, S., Christensen, R. H. B., Singmann, H., Dai, B., Scheipl, F., Grothendieck, G., Green, P., Fox, J., Bauer, A., & simulate.formula), P. N. K. (shared copyright on. (2022). *lme4: Linear Mixed-Effects Models using "Eigen" and S4* (1.1-31) [Computer software]. <https://CRAN.R-project.org/package=lme4>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2010.08.001>
- Blomstrand, P., & Engvall, J. (2020). Effects of a single exercise workout on memory and learning functions in young adults—A systematic review. *Translational Sports Medicine*, *2020*(00), 1–13. <https://doi.org/10.1002/tsm2.190>
- Brisswalter, J., Collardeau, M., & René, A. (2002). Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *32*(9), 555–566. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232090-00002>
- Brush, C. J., Olson, R. L., Ehmann, P. J., Osovsky, S., & Alderman, B. L. (2016). Dose–Response and Time Course Effects of Acute Resistance Exercise on Executive Function. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *38*(4), 396–408. <https://doi.org/10.1123/jsep.2016-0027>

- Brutvan, J., Peer, K., Barkley, J., & Jonas, J. (2016). The Effect of Exercise on Cognitive Function as Measured by ImPact Protocol: Aerobic Vs. Anaerobic. *Journal of Sports Medicine and Allied Health Sciences: Official Journal of the Ohio Athletic Trainers Association*, 2(2). <https://doi.org/10.25035/jmahs.02.02.01>
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2002). *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretical Approach*. Springer-Verlag.
- Cantelon, J. A., & Giles, G. E. (2021). A Review of Cognitive Changes During Acute Aerobic Exercise. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2021.653158>
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, 1453, 87–101. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.02.068>
- Chang, Y.-K., Huang, C.-J., Chen, K.-F., & Hung, T.-M. (2013). Physical activity and working memory in healthy older adults: An ERP study. *Psychophysiology*, 50(11), 1174–1182. <https://doi.org/10.1111/psyp.12089>
- Chen, A.-G., Zhu, L.-N., Yan, J., & Yin, H.-C. (2016). Neural Basis of Working Memory Enhancement after Acute Aerobic Exercise: fMRI Study of Preadolescent Children. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01804>
- Cotman, C. W., Berchtold, N. C., & Christie, L.-A. (2007). Exercise builds brain health: Key roles of growth factor cascades and inflammation. *Trends in Neurosciences*, 30(9), 464–472. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2007.06.011>
- Crush, E. A., & Loprinzi, P. D. (2017). Dose-Response Effects of Exercise Duration and Recovery on Cognitive Functioning. *Perceptual and Motor Skills*, 124(6), 1164–1193. <https://doi.org/10.1177/0031512517726920>
- Dai, M., Li, Y., Gan, S., & Du, F. (2019). The reliability of estimating visual working memory capacity. *Scientific Reports*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39044-1>
- D'Ardenne, K., Eshel, N., Luka, J., Lenartowicz, A., Nystrom, L. E., & Cohen, J. D. (2012). Role of prefrontal cortex and the midbrain dopamine system in working memory updating. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(49), 19900–19909. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116727109>
- Dehn, M. (2011). *Working Memory and Academic Learning: Assessment and Intervention*. John Wiley & Sons. <https://www.wiley.com/en-us/Working+Memory+and+Academic+Learning%3A+Assessment+and+Intervention-p-9780470144190>
- Dietrich, A., & Audiffren, M. (2011). The reticular-activating hypofrontality (RAH) model of acute exercise. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35(6), 1305–1325. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.02.001>
- Ecker, U. K. H., Oberauer, K., & Lewandowsky, S. (2014). Working memory updating involves item-specific removal. *Journal of Memory and Language*, 74, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2014.03.006>
- Eichenbaum, H., & Cohen, N. J. (2004). Working Memory and the Prefrontal Cortex. In H. Eichenbaum & N. J. Cohen (Eds.), *From Conditioning to Conscious Recollection: Memory systems of the brain* (p. 0). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195178043.003.0014>
- Erickson, K. I., Hillman, C., Stillman, C. M., Ballard, R. M., Bloodgood, B., Conroy, D. E., Macko, R., Marquez, D. X., Petruzzello, S. J., & Powell, K. E. (2019). Physical Activity, Cognition,

- and Brain Outcomes: A Review of the 2018 Physical Activity Guidelines. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 51(6), 1242–1251. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001936>
- Etnier, J. L., Salazar, W., Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Han, M., & Nowell, P. (1997). The Influence of Physical Fitness and Exercise upon Cognitive Functioning: A Meta-Analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 19(3), 249–277. <https://doi.org/10.1123/jsep.19.3.249>
- Etnier, J. L., Wideman, L., Labban, J. D., Piepmeier, A. T., Pendleton, D. M., Dvorak, K. K., & Becofsky, K. (2016). The Effects of Acute Exercise on Memory and Brain-Derived Neurotrophic Factor (BDNF). *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 38(4), 331–340. <https://doi.org/10.1123/jsep.2015-0335>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175–191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- Fernandes, R. M., Correa, M. G., dos Santos, M. A. R., Almeida, A. P. C. P. S. C., Fagundes, N. C. F., Maia, L. C., & Lima, R. R. (2018). The Effects of Moderate Physical Exercise on Adult Cognition: A Systematic Review. *Frontiers in Physiology*, 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2018.00667>
- Fimm, B., Willmes, K., & Spijkers, W. (2015). Differential Effects of Lowered Arousal on Covert and Overt Shifts of Attention. *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS*, 21(7), 545–557. <https://doi.org/10.1017/S1355617715000405>
- Fox, J., Rioux, B. V., Goulet, E. D. B., Johanssen, N. M., Swift, D. L., Bouchard, D. R., Loewen, H., & Sénéchal, M. (2018). Effect of an acute exercise bout on immediate post-exercise irisin concentration in adults: A meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(1), 16–28. <https://doi.org/10.1111/sms.12904>
- Friedman, N. P., & Robbins, T. W. (2022). The role of prefrontal cortex in cognitive control and executive function. *Neuropsychopharmacology*, 47(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41386-021-01132-0>
- Gallardo-Gómez, D., del Pozo-Cruz, J., Noetel, M., Álvarez-Barbosa, F., Alfonso-Rosa, R. M., & del Pozo Cruz, B. (2022). Optimal dose and type of exercise to improve cognitive function in older adults: A systematic review and bayesian model-based network meta-analysis of RCTs. *Ageing Research Reviews*, 76, 101591. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2022.101591>
- Galloway, E. M., Woo, N. H., & Lu, B. (2008). Persistent neural activity in the prefrontal cortex: A mechanism by which BDNF regulates working memory? *Progress in Brain Research*, 169, 251–266. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(07\)00015-5](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(07)00015-5)
- Giofrè, D., Mammarella, I. C., & Cornoldi, C. (2013). The structure of working memory and how it relates to intelligence in children. *Intelligence*, 41(5), 396–406. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2013.06.006>
- Goffaux, P., Phillips, N. A., Sinai, M., & Pushkar, D. (2006). Behavioural and electrophysiological measures of task switching during single and mixed-task conditions. *Biological Psychology*, 72(3), 278–290. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.11.009>
- Greene, C., Lee, H., & Thuret, S. (2019). In the Long Run: Physical Activity in Early Life and Cognitive Aging. *Frontiers in Neuroscience*, 13. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2019.00884>

- Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: Exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/nrn2298>
- Ho, S., Gooderham, G. K., & Handy, T. C. (2018). Self-reported free-living physical activity and executive control in young adults. *PLoS ONE*, 13(12), e0209616. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209616>
- Hötting, K., Reich, B., Holzschneider, K., Kauschke, K., Schmidt, T., Reer, R., Braumann, K.-M., & Röder, B. (2012). Differential cognitive effects of cycling versus stretching/coordination training in middle-aged adults. *Health Psychology*, 31(2), 145–155. <https://doi.org/10.1037/a0025371>
- Hsieh, S.-S., Chang, Y.-K., Hung, T.-M., & Fang, C.-L. (2016). The effects of acute resistance exercise on young and older males' working memory. *Psychology of Sport and Exercise*, 22, 286–293. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2015.09.004>
- Hsieh, S.-S., Huang, C.-J., Wu, C.-T., Chang, Y.-K., & Hung, T.-M. (2018). Acute Exercise Facilitates the N450 Inhibition Marker and P3 Attention Marker during Stroop Test in Young and Older Adults. *Journal of Clinical Medicine*, 7(11), 391. <https://doi.org/10.3390/jcm7110391>
- Hwang, D. S., Kwak, H. B., Ko, I. G., Kim, S. E., Jin, J. J., Ji, E. S., Choi, H. H., & Kwon, O. Y. (2016). Treadmill Exercise Improves Memory Function Depending on Circadian Rhythm Changes in Mice. *International Neuropsychology Journal*, 20(Suppl 2), S141-149. <https://doi.org/10.5213/inj.1632738.369>
- Hwang, J., Castelli, D. M., & Gonzalez-Lima, F. (2017). The positive cognitive impact of aerobic fitness is associated with peripheral inflammatory and brain-derived neurotrophic biomarkers in young adults. *Physiology & Behavior*, 179, 75–89. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.05.011>
- Infurna, F. J., Gerstorf, D., & Lachman, M. E. (2020). Midlife in the 2020s: Opportunities and Challenges. *The American Psychologist*, 75(4), 470–485. <https://doi.org/10.1037/amp0000591>
- Ji, L.-Y., Li, X.-L., Liu, Y., Sun, X.-W., Wang, H.-F., Chen, L., & Gao, L. (2017). Time-Dependent Effects of Acute Exercise on University Students' Cognitive Performance in Temperate and Cold Environments. *Frontiers in Psychology*, 8, 1192. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01192>
- Jost, K., Mayr, U., & Rösler, F. (2008). Is task switching nothing but cue priming? Evidence from ERPs. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 8(1), 74–84. <https://doi.org/10.3758/CABN.8.1.74>
- Kamijo, K., & Abe, R. (2019). After effects of Cognitively Demanding Acute Aerobic Exercise on Working Memory. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(1), 153–159. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001763>
- Kao, S.-C., Chen, F.-T., Moreau, D., Drollette, E. S., Amireault, S., Chu, C.-H., & Chang, Y.-K. (2022). Acute effects of exercise engagement on neurocognitive function: A systematic review and meta-analysis on P3 amplitude and latency. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 0(0), 1–43. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2022.2155488>
- Kao, S.-C., Wang, C.-H., & Hillman, C. H. (2020). Acute effects of aerobic exercise on response variability and neuroelectric indices during a serial n-back task. *Brain and Cognition*, 138, 105508. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2019.105508>

- Kao, S.-C., Wang, C.-H., Kamijo, K., Khan, N., & Hillman, C. (2021). Acute effects of highly intense interval and moderate continuous exercise on the modulation of neural oscillation during working memory. *International Journal of Psychophysiology*, *160*, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.12.003>
- Karvonen, M. J., Kentala, E., & Mustala, O. (1957). The effects of training on heart rate; a longitudinal study. *Annales Medicinæ Experimentalis Et Biologiæ Fenniae*, *35*(3), 307–315.
- Kato, K., Iwamoto, K., Kawano, N., Noda, Y., Ozaki, N., & Noda, A. (2018). Differential effects of physical activity and sleep duration on cognitive function in young adults. *Journal of Sport and Health Science*, *7*(2), 227–236. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2017.01.005>
- Kim, D., Lokey, S., & Ling, S. (2017). Elevated arousal levels enhance contrast perception. *Journal of Vision*, *17*(2), 14. <https://doi.org/10.1167/17.2.14>
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., Christensen, R. H. B., & Jensen, S. P. (2020). *lmerTest: Tests in Linear Mixed Effects Models* (3.1-3) [Computer software]. <https://CRAN.R-project.org/package=lmerTest>
- Labelle, V., Bosquet, L., Mekary, S., & Bherer, L. (2013). Decline in executive control during acute bouts of exercise as a function of exercise intensity and fitness level. *Brain and Cognition*, *81*(1), 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.10.001>
- Lambourne, K., & Tomporowski, P. (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: A meta-regression analysis. *Brain Research*, *1341*, 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.03.091>
- Lander, J. P. (2022). *coefplot: Plots Coefficients from Fitted Models (1.2.8)* [Computer software]. <https://CRAN.R-project.org/package=coefplot>
- Liu, S., Yu, Q., Li, Z., Cunha, P. M., Zhang, Y., Kong, Z., Lin, W., Chen, S., & Cai, Y. (2020). Effects of Acute and Chronic Exercises on Executive Function in Children and Adolescents: A Systemic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Psychology*, *11*, 554915. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.554915>
- Loprinzi, P. D. (2019). An integrated model of acute exercise on memory function. *Medical Hypotheses*, *126*, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2019.03.010>
- Loprinzi, P. D., Green, D., Wages, S., Cheke, L. G., & Jones, T. (2020). Experimental Effects of Acute High-Intensity Resistance Exercise on Episodic Memory Function: Consideration for Post-Exercise Recovery Period. *Journal of Lifestyle Medicine*, *10*(1), 7–20. <https://doi.org/10.15280/jlm.2020.10.1.7>
- Loprinzi, P. D., Roig, M., Tomporowski, P. D., Javadi, A.-H., & Kelemen, W. L. (2023). Effects of acute exercise on memory: Considerations of exercise intensity, post-exercise recovery period and aerobic endurance. *Memory & Cognition*, *51*(4), 1011–1026. <https://doi.org/10.3758/s13421-022-01373-4>
- Lüdecke, D. (2018). sjmisc: Data and Variable Transformation Functions. *Journal of Open Source Software*, *3*(26), 754. <https://doi.org/10.21105/joss.00754>
- Lüdecke, D., Bartel, A., Schwemmer, C., Powell, C., Djalovski, A., & Titz, J. (2022). *sjPlot: Data Visualization for Statistics in Social Science (2.8.12)* [Computer software]. <https://CRAN.R-project.org/package=sjPlot>
- Lüdecke, D., Ranzolin, A., & Troye, J. D. (2022). *sjlabelled: Labelled Data Utility Functions (1.2.0)* [Computer software]. <https://CRAN.R-project.org/package=sjlabelled>
- Ludyga, S., Gerber, M., Brand, S., Pühse, U., & Colledge, F. (2018). Effects of Aerobic Exercise on Cognitive Performance Among Young Adults in a Higher Education Setting. *Research*

- Quarterly for Exercise and Sport*, 89(2), 164–172.  
<https://doi.org/10.1080/02701367.2018.1438575>
- Ludyga, S., Held, S., Rappelt, L., Donath, L., & Klatt, S. (2022). A network meta-analysis comparing the effects of exercise and cognitive training on executive function in young and middle-aged adults. *European Journal of Sport Science*, 1–11.  
<https://doi.org/10.1080/17461391.2022.2099765>
- Mandolesi, L., Polverino, A., Montuori, S., Foti, F., Ferraioli, G., Sorrentino, P., & Sorrentino, G. (2018). Effects of Physical Exercise on Cognitive Functioning and Wellbeing: Biological and Psychological Benefits. *Frontiers in Psychology*, 9, 1–11.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00509>
- Mathy, F., Chekaf, M., & Cowan, N. (2018). Simple and Complex Working Memory Tasks Allow Similar Benefits of Information Compression. *Journal of Cognition*, 1(1), 31.  
<https://doi.org/10.5334/joc.31>
- McMorris, T. (2021). The acute exercise-cognition interaction: From the catecholamines hypothesis to an interoception model. *International Journal of Psychophysiology*, 170, 75–88. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2021.10.005>
- McMorris, T., Sproule, J., Turner, A., & Hale, B. J. (2011). Acute, intermediate intensity exercise, and speed and accuracy in working memory tasks: A meta-analytical comparison of effects. *Physiology & Behavior*, 102(3), 421–428. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2010.12.007>
- McMorris, T., Turner, A., Hale, B. J., & Sproule, J. (2016). Chapter 4 - Beyond the Catecholamines Hypothesis for an Acute Exercise–Cognition Interaction: A Neurochemical Perspective. In T. McMorris (Ed.), *Exercise-Cognition Interaction* (pp. 65–103). Academic Press.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800778-5.00004-9>
- Mirelman, A., Maidan, I., Bernad-Elazari, H., Nieuwhof, F., Reelick, M., Giladi, N., & Hausdorff, J. M. (2014). Increased frontal brain activation during walking while dual tasking: An fNIRS study in healthy young adults. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 11(1), 85. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-85>
- 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.  
<https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Morey, R. D. (2008). Confidence Intervals from Normalized Data: A correction to Cousineau (2005). *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, 4(2), 61–64.  
<https://doi.org/10.20982/tqmp.04.2.p061>
- Mou, H., Tian, S., Fang, Q., & Qiu, F. (2022). The Immediate and Sustained Effects of Moderate-Intensity Continuous Exercise and High-Intensity Interval Exercise on Working Memory. *Frontiers in Psychology*, 13.  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2022.766679>
- Nanda, B., Balde, J., & Manjunatha, S. (2013). The Acute Effects of a Single Bout of Moderate-intensity Aerobic Exercise on Cognitive Functions in Healthy Adult Males. *Journal of Clinical and Diagnostic Research: JCDR*, 7(9), 1883–1885.  
<https://doi.org/10.7860/JCDR/2013/5855.3341>
- Niendam, T. A., Laird, A. R., Ray, K. L., Dean, Y. M., Glahn, D. C., & Carter, C. S. (2012). Meta-analytic evidence for a superordinate cognitive control network subserving diverse executive functions. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 12(2), 241–268.  
<https://doi.org/10.3758/s13415-011-0083-5>

- Oberauer, K. (2009). *Chapter 2 Design for a Working Memory*. In *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 51, pp. 45–100). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(09\)51002-X](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(09)51002-X)
- Oberauer, K., & Souza, A. S. (2020). How fast can people refresh and rehearse information in working memory? *Memory & Cognition*, 48(8), 1442–1459. <https://doi.org/10.3758/s13421-020-01062-0>
- Olivo, G., Nilsson, J., Garzón, B., Lebedev, A., Wåhlin, A., Tarassova, O., Ekblom, M., & Lövdén, M. (2021). Immediate effects of a single session of physical exercise on cognition and cerebral blood flow: A randomized controlled study of older adults. *NeuroImage*, 225, 117500. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117500>
- Papp, C., Pak, K., Erdei, T., Juhasz, B., Seres, I., Szentpéteri, A., Kardos, L., Szilasi, M., Gesztelyi, R., & Zsuga, J. (2017). Alteration of the irisin-brain-derived neurotrophic factor axis contributes to disturbance of mood in COPD patients. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 12, 2023–2033. <https://doi.org/10.2147/COPD.S135701>
- Park, J., Kim, J., & Mikami, T. (2022). Exercise hormone irisin prevents physical inactivity-induced cognitive decline in mice. *Behavioural Brain Research*, 433, 114008. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2022.114008>
- Peng, P., Namkung, J., Barnes, M., & Sun, C. (2016). A meta-analysis of mathematics and working memory: Moderating effects of working memory domain, type of mathematics skill, and sample characteristics. *Journal of Educational Psychology*, 108(4), 455–473. <https://doi.org/10.1037/edu0000079>
- Pesce, C., Capranica, L., Tessitore, A., & Figura, F. (2003). Focusing of visual attention under submaximal physical load. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 1(3), 275–292. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2003.9671719>
- Piepmeyer, A. T., & Etnier, J. L. (2015). Brain-derived neurotrophic factor (BDNF) as a potential mechanism of the effects of acute exercise on cognitive performance. *Journal of Sport and Health Science*, 4(1), 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.11.001>
- Polich, J. (2007). Updating P300: An Integrative Theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 118(10), 2128–2148. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.019>
- Pontifex, M. B., Hillman, C. H., Fernhall, B., Thompson, K. M., & Valentini, T. A. (2009). The Effect of Acute Aerobic and Resistance Exercise on Working Memory. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(4), 927–934. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181907d69>
- Qiu, S., Bosnyák, E., Treff, G., Steinacker, J. M., Nieß, A. M., Krüger, K., Mooren, F. C., Zügel, M., & Schumann, U. (2018). Acute exercise-induced irisin release in healthy adults: Associations with training status and exercise mode. *European Journal of Sport Science*, 18(9), 1226–1233. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1478452>
- Rathore, A., & Lom, B. (2017). The effects of chronic and acute physical activity on working memory performance in healthy participants: A systematic review with meta-analysis of randomized controlled trials. *Systematic Reviews*, 6, 124. <https://doi.org/10.1186/s13643-017-0514-7>
- Redick, T. S., Heitz, R. P., & Engle, R. W. (2007). Working memory capacity and inhibition: Cognitive and social consequences. In *Inhibition in cognition* (pp. 125–142). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/11587-007>

- Redick, T. S., & Lindsey, D. R. B. (2013). Complex span and n-back measures of working memory: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(6), 1102–1113. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0453-9>
- Reed, C. L., Siqi-Liu, A., Lydic, K., Lodge, M., Chitre, A., Denaro, C., Petropoulos, A., Joshi, J., Bukach, C. M., & Couperus, J. W. (2022). Selective contributions of executive function ability to the P3. *International Journal of Psychophysiology*, 176, 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2022.03.004>
- Ripley, B., Venables, B., Bates, D. M., (ca 1998), K. H. (partial port, ca 1998), A. G. (partial port, & Firth, D. (2022). *MASS: Support Functions and Datasets for Venables and Ripley's MASS (7.3-58.1)* [Computer software]. <https://CRAN.R-project.org/package=MASS>
- Robert, C., Borella, E., Fagot, D., Lecerf, T., & de Ribaupierre, A. (2009). Working memory and inhibitory control across the life span: Intrusion errors in the Reading Span Test. *Memory & Cognition*, 37(3), 336–345. <https://doi.org/10.3758/MC.37.3.336>
- Rocha, A. M. da, Herdy, A. H., & Souza, P. de. (2019). Comparative Analysis of Direct and Indirect Methods for the Determination of Maximal Oxygen Uptake in Sedentary Young Adults. *International Journal of Cardiovascular Sciences*, 32, 362–367. <https://doi.org/10.5935/2359-4802.20190052>
- Rodríguez-Villagra, O. A. (2017). *Capacidad de memoria de trabajo: Causas de olvido y procesos inhibitorios*. Informe Final Proyecto 837-B4-337. Universidad de Costa Rica.
- RStudio Team. (2020). *RStudio: Integrated Development for R*. [RStudio, PBC, Boston, MA]. <http://www.rstudio.com/>
- RTVE (Director). (2010, November 4). *Sport for a healthier brain*. <https://www.rtve.es/television/20101104/redes-deporte-para-cerebro-mas-sano/367461.shtml>
- Saliasi, E., Geerligs, L., Lorist, M. M., & Maurits, N. M. (2013). The Relationship between P3 Amplitude and Working Memory Performance Differs in Young and Older Adults. *PLoS ONE*, 8(5), e63701. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063701>
- Salthouse, T. A., & Davis, H. P. (2006). Organization of cognitive abilities and neuropsychological variables across the lifespan. *Developmental Review*, 26(1), 31–54. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2005.09.001>
- Seifert, T., Brassard, P., Wissenberg, M., Rasmussen, P., Nordby, P., Stallknecht, B., Adser, H., Jakobsen, A. H., Pilegaard, H., Nielsen, H. B., & Secher, N. H. (2010). Endurance training enhances BDNF release from the human brain. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 298(2), R372–R377. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00525.2009>
- Shephard, R. J. (1988). *PAR-Q, Canadian Home Fitness Test and exercise screening alternatives*. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.), 5(3), 185–195. <https://doi.org/10.2165/00007256-198805030-00005>
- Smith, M., Tallis, J., Miller, A., Clarke, N. D., Guimarães-Ferreira, L., & Duncan, M. J. (2016). The effect of exercise intensity on cognitive performance during short duration treadmill running. *Journal of Human Kinetics*, 51, 27–35. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0167>
- Soga, K., Shishido, T., & Nagatomi, R. (2015). Executive function during and after acute moderate aerobic exercise in adolescents. *Psychology of Sport and Exercise*, 16, 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.08.010>

- Stillman, C. M., Esteban-Cornejo, I., Brown, B., Bender, C. M., & Erickson, K. I. (2020). Effects of Exercise on Brain and Cognition Across Age Groups and Health States. *Trends in Neurosciences*, 43(7), 533–543. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2020.04.010>
- Sudo, M., Costello, J. T., McMorris, T., & Ando, S. (2022). The effects of acute high-intensity aerobic exercise on cognitive performance: A structured narrative review. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 16. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnbeh.2022.957677>
- Tanaka, H., Monahan, K. D., & Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 37(1), 153–156. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(00\)01054-8](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(00)01054-8)
- Traverso, L., Mantini, C., Usai, M. C., & Viterbori, P. (2015). *The Relationship Between Inhibition and Working Memory In Preschoolers: Evidence For Different Inhibitory Abilities*. 48–53.
- Tsai, C.-L., Pan, C.-Y., Chen, F.-C., Wang, C.-H., & Chou, F.-Y. (2016). Effects of acute aerobic exercise on a task-switching protocol and brain-derived neurotrophic factor concentrations in young adults with different levels of cardiorespiratory fitness. *Experimental Physiology*, 101(7), 836–850. <https://doi.org/10.1113/EP085682>
- Voss, M. W., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Chaddock, L., Malkowski, E., Alves, H., Kim, J. S., Morris, K. S., White, S. M., Wójcicki, T. R., Hu, L., Szabo, A., Klamm, E., McAuley, E., & Kramer, A. F. (2010). Functional connectivity: A source of variance in the association between cardiorespiratory fitness and cognition? *Neuropsychologia*, 48(5), 1394–1406. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.01.005>
- Voss, M. W., Prakash, R. S., Erickson, K. I., Basak, C., Chaddock, L., Kim, J. S., Alves, H., Heo, S., Szabo, A. N., White, S. M., Wójcicki, T. R., Mailey, E. L., Gothe, N., Olson, E. A., McAuley, E., & Kramer, A. F. (2010). Plasticity of Brain Networks in a Randomized Intervention Trial of Exercise Training in Older Adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 2, 32. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2010.00032>
- Walsh, J. J., & Tschakovsky, M. E. (2018). Exercise and circulating BDNF: Mechanisms of release and implications for the design of exercise interventions. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition Et Metabolisme*, 43(11), 1095–1104. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0192>
- Wang, C.-C., Chu, C.-H., Chu, I.-H., Chan, K.-H., & Chang, Y.-K. (2013). Executive Function During Acute Exercise: The Role of Exercise Intensity. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 35(4), 358–367. <https://doi.org/10.1123/jsep.35.4.358>
- Wang, H., Yang, Y., Xu, J., Niu, L., Zhang, Y., Shi, J., & Shen, L. (2023). Meta-analysis on the effects of moderate-intensity exercise intervention on executive functioning in children. *PLOS ONE*, 18(2), e0279846. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0279846>
- Wilhelm, O., Hildebrandt, A., & Oberauer, K. (2013). What is working memory capacity, and how can we measure it? *Frontiers in Psychology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00433>
- Yamazaki, Y., Sato, D., Yamashiro, K., Tsubaki, A., Takehara, N., Uetake, Y., Nakano, S., & Maruyama, A. (2018). Inter-individual differences in working memory improvement after acute mild and moderate aerobic exercise. *PLOS ONE*, 13(12), e0210053. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210053>
- Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18(5), 459–482. <https://doi.org/10.1002/cne.920180503>

- Zheng, G., Xia, R., Zhou, W., Tao, J., & Chen, L. (2016). Aerobic exercise ameliorates cognitive function in older adults with mild cognitive impairment: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *British Journal of Sports Medicine*, 50(23), 1443–1450. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095699>
- Zhidong, C., Wang, X., Yin, J., Song, D., & Chen, Z. (2021). Effects of physical exercise on working memory in older adults: A systematic and meta-analytic review. *European Review of Aging and Physical Activity: Official Journal of the European Group for Research into Elderly and Physical Activity*, 18(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s11556-021-00272-y>
- Zhu, Q., Deng, J., Yao, M., Xu, C., Liu, D., Guo, L., & Zhu, Y. (2023). Effects of physical activity on visuospatial working memory in healthy individuals: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 14. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2023.1103003>

## Anexos

## Anexo 1



## PAR-Q

Cuestionario de Preparación  
para la Actividad Física  
(revisado 2002)

(Un cuestionario para gente de 15 a 69 años)

La actividad física regular es sana y divertida, y cada vez mas gente esta comenzando a estar más activa cada día. Ser más activo es muy seguro para la mayoría de la gente. Entretanto, alguna gente podría tener que chequearse con su médico antes de comenzar a estar físicamente más activo.

Si usted está planeando comenzar a estar más activo físicamente de lo que está ahora, comience por contestar las siete preguntas en el recuadro de abajo. Si usted está entre la edad de 15 a 69 años, el PAR-Q le dirá si usted debería chequearse con su médico antes de comenzar. Si usted es mayor de 69 años, y no está acostumbrado a ser muy activo, consulte con su médico.

El sentido común es su mejor guía cuando usted conteste estas preguntas. Por favor, lea las preguntas cuidadosamente y conteste cada una con honestidad: confirme SI o NO.

<p><b>Si No</b></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 1. ¿Le ha dicho su médico alguna vez que padece una enfermedad cardiaca y que sólo debe hacer aquella actividad física que le aconseje un médico?</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2. ¿Tiene dolor en el pecho cuando hace actividad física?</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 3. ¿ En el último mes, ha tenido dolor en el pecho cuando no hacía actividad física?</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 4. ¿Pierde el equilibrio debido a mareos o se ha desmayado alguna vez?</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 5. ¿Tiene problemas en huesos o articulaciones (por ejemplo, espalda, rodilla o cadera) que puedan empeorar si aumenta la actividad física?</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 6. ¿Le receta su médico algún medicamento para la tensión arterial o un problema cardíaco?</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 7. ¿Conoce alguna razón por la cual no debería realizar actividad física?</p>
---

### SI a una o más preguntas

Si

Usted

Respondió

Hable con su médico por teléfono o en persona ANTES de empezar a estar más activo físicamente, o ANTES de tener una evaluación de su condición física. Dígale a su médico que realizó este cuestionario y las preguntas que usted respondió que SI.

- Usted puede estar listo para realizar cualquier actividad que desee, siempre y cuando comience lenta y gradualmente. O bien, puede que tenga que restringir su actividad a las que sea más segura para usted. Hable con su médico sobre el tipo de actividades que desea participar y siga su consejo.
- Busque programas en lugares especializados que sean seguros y beneficiosos para usted.

### NO a todas las preguntas

Usted puede comenzar, de forma razonablemente segura:

- a estar mucho más activo físicamente, comenzando de a poco y aumentando gradualmente. Este es la forma más segura y más fácil.
- realizar una evaluación de su condición física por personal cualificado, lo cual es un excelente camino para determinar su nivel actual, de forma de poder planificar mejor la forma de ser una persona activa.
- Es muy recomendable también que evalúe su tensión arterial. Si usted tiene más de 144/94, hable con su médico antes de comenzar a realizar más actividad física.

### Retrase comenzar a ser más activo:

- Si usted no se siente bien a causa de una enfermedad temporal, tal como un catarro o fiebre, y espere hasta que se sienta mejor; o
- Si usted esta o puede estar embarazada, hable con su médico antes de comenzar a estar físicamente más activa.

**Por favor,** si algún cambio en su salud hiciera que tuviera que responder **SI** a algunas de las preguntas, dígaselo a su médico o entrenador. Pregunte entretanto si debe cambiar su plan de actividad física

Aviso: La Sociedad Canadiense de Fisiología del Ejercicio, Salud Canadá, y sus agentes no asumen ninguna responsabilidad legal para las personas que realizan actividad física, y en caso de duda después de completar este cuestionario, consulte a su médico antes de la actividad física.

"He leído, comprendido y completado este cuestionario. Todas las preguntas fueron respondidas a mi entera satisfacción."

Nombre \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

Firma \_\_\_\_\_ (padre-madre/tutor si menor de edad) Testigo \_\_\_\_\_

**Nota:** Este cuestionario es válido para un máximo de 12 meses a partir de la fecha en que se completa y se convierte en inválido si su condición cambia de manera que usted debería responder SI a cualquiera de las siete preguntas.

**Anexo 2****UNIVERSIDAD DE COSTA RICA****COMITÉ ÉTICO CIENTÍFICO**

Teléfono/Fax: (506) 2511-4201

Maestría Académica en Ciencias Cognoscitivas
---

**Ejercicio aeróbico agudo y sus posibles efectos sobre la memoria de trabajo**

Código (o número) de proyecto: \_\_\_\_\_

Nombre de el/la investigador/a principal: Bryan Montero Herrera

Nombre del/la participante: \_\_\_\_\_

Medios para contactar a la/al participante: números de teléfono \_\_\_\_\_

Correo electrónico \_\_\_\_\_

Contacto a través de otra persona \_\_\_\_\_

**A. PROPÓSITO DEL PROYECTO**

Hola, me llamo Bryan Montero Herrera. Esta investigación, que financio con mis propios recursos, la realizo como requisito para cumplir con mi programa de Maestría Académica en Ciencias Cognoscitivas de la Universidad de Costa Rica. Mi propósito es aportar información que permita comprender mejor cómo el ejercicio ayuda a mejorar los procesos de memoria de trabajo, la cual se refiere a la habilidad de recordar información para realizar una actividad o tarea en particular. Para este estudio requerimos la participación de personas mayores de edad que no padezcan de alguna enfermedad cardiaca, dolor de pecho cuando hacen actividad física, mareos, desmayos, enfermedad en los huesos o articulaciones que aumenten debido a la práctica de actividad física.

**B. ¿QUÉ SE HARÁ?**

Si usted acepta participar en el estudio y no posee alguna de las condiciones anteriores, realizará lo siguiente:

1. Usted vendrá a un total de 3 sesiones, separadas con un mínimo de 48 horas de diferencia entre cada una. En la primera sesión llenará un cuestionario llamado “Par-Q”, para conocer de manera general su estado de salud. Luego, su capacidad física será evaluada con la prueba llamada “Course Navette”, en la cual usted deberá recorrer una distancia fija de 20 metros a una velocidad que irá aumentando, hasta que ya no pueda seguir porque se cansó o no pudo terminar el recorrido de 20 metros. Completados los dos requisitos anteriores, se le asignará de manera aleatoria a alguno de 4 grupos. Las personas asignadas al primer y al segundo grupo verán un video de 30 minutos sobre los beneficios del ejercicio en el cerebro y luego descansan por 30 o 60 minutos, respectivamente. Las personas asignadas al tercer y cuarto grupo al segundo grupo se ejercitarán en la bicicleta estacionaria por 30 minutos a una intensidad moderada controlada por medio de un sensor que mide la velocidad de los latidos de su corazón y se encuentra en donde usted colocará sus manos y luego descansarán por 30 o 60 minutos, respectivamente.
2. En la segunda sesión, se familiarizará con la prueba de memoria de trabajo, la cual se realiza en una computadora y le enseñaremos cómo utilizar una bicicleta estacionaria que tenemos en el Centro de Investigación en Ciencias del Movimiento Humano (CIMO HU).
1. En la tercera sesión, le pediremos completar las pruebas “Test de Dígitos y Símbolos”, prueba de “Cattell”, “Escala Atenas de Insomnio”, “Perfil de Estados Anímicos” y la tarea de memoria de trabajo visoespacial en dos ocasiones. Antes y después de las actividades realizadas según el grupo asignado.

Firma de sujeto participante: \_\_\_\_\_

Comité Ético Científico - Universidad de Costa Rica – Número de sesión en que fue aprobado el proyecto: \_\_\_\_\_ Comité Ético Científico - Universidad de Costa Rica

2. Con su consentimiento, en el transcurso de las sesiones se tomarán fotos y videos que servirán para una posterior defensa y presentación en congresos. Esa información estará en mi computadora personal, la cual tiene clave, y NO serán divulgados en redes sociales.
3. Una vez que completemos el estudio le informaré sobre sus resultados.

### **C. RIESGOS**

Por las características del estudio el participante no tiene riesgo alguno. Respecto a los cuestionarios en papel y lápiz y la prueba de memoria de trabajo puede experimentar cansancio o aburrimiento, en cuyo caso podrá retirarse de la sesión sin ninguna consecuencia. Si usted no está familiarizado(a) con pedalear en una bicicleta reclinada este ejercicio podría causarle dolores en los músculos de las piernas o alguna incomodidad en las rodillas o tobillos. El dolor muscular no es una lesión y generalmente desaparece en 48 horas, pero si usted tuviera dificultades para completar los 30 minutos de ejercicio, le pediría que me lo comunique para tomar las previsiones del caso.

### **D. BENEFICIOS**

Como resultado de su participación en este estudio, tendrá la posibilidad de conocer su capacidad de desempeño físico durante un tipo de ejercicio recomendado por organizaciones internacionales para mejorar la salud. Esto ayudará al mejoramiento de su salud cardiovascular si desea ingresar luego a un programa estructurado y supervisado de acondicionamiento físico.

Si decide participar, el investigador tendrá más oportunidad de conocer si el ejercicio beneficia la memoria de trabajo. Además, con los datos obtenidos se podría beneficiar a otras personas en el futuro al comprobar la importancia que el ejercicio puede tener previo a la realización de alguna prueba, test o examen.

Por su participación en el estudio, no recibirá ningún tipo de compensación económica.

### **E. VOLUNTARIEDAD**

Su participación en esta investigación es voluntaria y puede negarse a participar o retirarse en cualquier momento sin perder los beneficios a los cuales tiene derecho, ni ser castigada de ninguna forma por su retiro o falta de participación.

### **F. CONFIDENCIALIDAD**

Toda la información del presente estudio estará sujeta a un criterio de estricto anonimato de la información, el acceso a las bases de datos estará restringido al equipo de investigación (que incluye tanto a investigadores como asistentes de investigación que se encuentran bajo la supervisión de los primeros) y en caso de ser divulgadas en el contexto académico bajo ninguna circunstancia será posible ligar los resultados a una persona en particular ya que los datos que permitan la identificación serán eliminados de la base. Los resultados de la investigación podrán ser publicados en revistas científicas, o bien ser reanalizados en trabajos finales de graduación para grado o posgrado, siempre y cuando se mantenga el criterio de anonimato de quienes participen. Es decir, nosotros no le diremos a otras personas que usted participó en este estudio.

Una vez finalizado el estudio, usted podrá tener acceso a los resultados contenidos en las publicaciones científicas que sea posible derivar del estudio a través del investigador principal.

### **G. MUESTRAS BIOLÓGICAS**

No se le tomará ningún tipo de muestra biológica.

Firma de sujeto participante: \_\_\_\_\_

Comité Ético Científico - Universidad de Costa Rica – Número de sesión en que fue aprobado el proyecto: \_\_\_\_\_ Comité Ético Científico - Universidad de Costa Rica

## H. INFORMACIÓN

Antes de dar su autorización usted debe haber hablado con el Lic. Bryan Montero Herrera sobre este estudio y él debe haber contestado satisfactoriamente todas sus preguntas. Si quisiera más información, puede obtenerla llamando a Bryan Montero Herrera al teléfono 8887-7156 o a los correos [bryan\\_mh2005@hotmail.com](mailto:bryan_mh2005@hotmail.com) o [bryan.monteroherrera@ucr.ac.cr](mailto:bryan.monteroherrera@ucr.ac.cr) en el horario de lunes a viernes de 7 am a 6 p.m. Además, puede consultar sobre los derechos de los Sujetos Participantes en Proyectos de Investigación a la Dirección de Regulación de Salud del Ministerio de Salud, al teléfono 2257-2090, de lunes a viernes de 8 a.m. a 4 p.m. Cualquier consulta adicional puede comunicarse a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica **al teléfono 2511-4201**, de lunes a viernes de 8 a.m. a 5 p.m.

I. Usted NO perderá ningún derecho por firmar este documento y recibirá una copia de esta fórmula firmada para su uso personal.

## CONSENTIMIENTO

He leído o se me ha leído toda la información descrita en esta fórmula antes de firmarla. Se me ha brindado la oportunidad de hacer preguntas y estas han sido contestadas en forma adecuada. Por lo tanto, declaro que entiendo de qué trata el proyecto, las condiciones de mi participación y accedo a participar como sujeto de investigación en este estudio

**\*Este documento debe de ser autorizado en todas las hojas mediante la firma, (o en su defecto con la huella digital), de la persona que será participante o de su representante legal.**

---

Nombre, firma y cédula del sujeto participante

---

Lugar, fecha y hora

---

Nombre, firma y cédula del/la investigador/a que solicita el consentimiento

---

Lugar, fecha y hora

---

Nombre, firma y cédula del/la testigo

---

Lugar, fecha y hora

### Versión junio 2017

Formulario aprobado en sesión ordinaria N° 63 del Comité Ético Científico, realizada el 07 de junio del 2017.

Firma de sujeto participante: \_\_\_\_\_

Comité Ético Científico - Universidad de Costa Rica – Número de sesión en que fue aprobado el proyecto: \_\_\_\_\_ Comité Ético Científico - Universidad de Costa Rica