

Efectos de ejercicios de alta intensidad con realidad aumentada sobre la velocidad de procesamiento cognitivo en estudiantes universitarios

Miguel Ángel Cárdenas Siachoque, Daniel Esteban Martínez Coronel, Carlos Eduardo Morales Morales

CA9A — Opción de grado

Asesor: Darío Mendoza Romero

Universidad Santo Tomás — Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación

División de Ciencias de la Salud — Bogotá D.C., mayo de 2026

Resumen

Este estudio cuasiexperimental exploró los efectos de una intervención de dos semanas con ejercicios de alta intensidad mediante realidad aumentada (Active Arcade) sobre la velocidad de procesamiento cognitivo en estudiantes de primer semestre del Programa de Cultura Física, Deporte y Recreación de la Universidad Santo Tomás, sede Bogotá. Participaron 27 jóvenes (19 hombres y 8 mujeres, edad promedio 19.4 ± 2.1 años), seleccionados por conveniencia. La intervención incluyó 6 sesiones (3 por semana, ~2 horas cada una) con rotación secuencial de 7 juegos de Active Arcade, verificados como de alta intensidad mediante $\%FC_{\text{máx}} > 75\%$ (Polar Flow). La velocidad de procesamiento cognitivo se evaluó con una versión adaptada del Trail Making Test (TMT), registrando tiempo de ejecución (s) y número de errores pre y post-intervención. Los análisis se realizaron en Jamovi 2.6: Shapiro-Wilk para normalidad y Wilcoxon para la comparación pre-post. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el tiempo de ejecución ($W = 204$, $p = .732$, $r = .079$) ni en errores ($W = 204$, $p = .476$, $r = .162$). El análisis de potencia post hoc indicó una potencia alcanzada de .117, coherente con el carácter piloto del estudio. Una intervención de dos semanas con este protocolo no fue suficiente para modificar la velocidad de procesamiento cognitivo en esta población.

Palabras clave (DeSC/MeSH): *cognición; realidad aumentada; entrenamiento de alta intensidad; pruebas neuropsicológicas; estudiantes.*

Abstract

This quasi-experimental study explored the effects of a two-week high-intensity exercise intervention using augmented reality (Active Arcade) on cognitive processing speed in first-semester students of the Physical Culture, Sports, and Recreation Program at Santo Tomás

University, Bogotá. Twenty-seven participants (19 men, 8 women; mean age 19.4 ± 2.1 years) were selected by convenience sampling. The intervention included 6 sessions (3/week, ~2 hours each) with sequential rotation of 7 Active Arcade games, verified as high-intensity via $\%HR_{max} > 75\%$ (Polar Flow). Cognitive processing speed was assessed using an adapted version of the Trail Making Test (TMT), recording execution time (s) and number of errors before and after the intervention. Analyses were conducted in Jamovi 2.6: Shapiro-Wilk for normality and Wilcoxon for pre-post comparison. No statistically significant differences were found in execution time ($W = 204$, $p = .732$, $r = .079$) or errors ($W = 204$, $p = .476$, $r = .162$). Post hoc power analysis indicated an achieved power of .117, consistent with the pilot nature of the study. A two-week intervention with this protocol was insufficient to modify cognitive processing speed in this population.

Keywords (MeSH): *cognition; augmented reality; high-intensity interval training; neuropsychological tests; students.*

Introducción

El deterioro de la velocidad de procesamiento cognitivo en jóvenes universitarios representa una problemática relevante en el contexto académico actual. En esta población, el incremento del sedentarismo y el uso prolongado de dispositivos digitales han modificado los niveles de actividad física y el tiempo de pantalla, con consecuencias negativas sobre el desempeño cognitivo y la salud mental (Durán Osorno, 2025). Estos hábitos se vinculan con una deficiente calidad del sueño y mayores niveles de fatiga mental, elementos que comprometen funciones ejecutivas como la atención y la velocidad de procesamiento.

Investigaciones previas han consolidado que la actividad física regular, y en particular el ejercicio de alta intensidad, se asocia con mejoras en el funcionamiento cognitivo de adultos jóvenes (López-Valenciano et al., 2021). No obstante, la evidencia sobre intervenciones que integren estimulación cognitivo-motriz de alta intensidad mediante tecnologías emergentes como la realidad aumentada (RA) permanece limitada. Si bien la RA ha demostrado favorecer procesos de aprendizaje dinámicos y motivadores (Meléndez y Velázquez, 2025; Figueroa et al., 2025), su impacto específico sobre variables neuropsicológicas en contextos universitarios latinoamericanos no ha sido suficientemente documentado.

La mayoría de los estudios sobre RA y cognición presentan limitaciones metodológicas que restringen la generalización de sus hallazgos. Recker et al. (2022) señalan que el TMT, aunque ampliamente utilizado, presenta baja especificidad en la discriminación de funciones ejecutivas individuales cuando se emplea sin distinción entre sus partes A y B. Adicionalmente, revisiones recientes sobre el uso del TMT en poblaciones clínicas indican que el control insuficiente de variables del estilo de vida —como la actividad física basal y la calidad del sueño— limita la interpretación de los resultados (Palesi et al., 2024). En cuanto a intervenciones con RA en contextos universitarios latinoamericanos específicamente, la búsqueda sistemática de la literatura no arrojó estudios previos que hayan evaluado el efecto de programas de RA con ejercicio de alta intensidad sobre la velocidad de procesamiento cognitivo considerando de manera conjunta las variables de hábitos de vida.

Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio fue evaluar los efectos de una intervención de dos semanas con ejercicios de alta intensidad mediante realidad aumentada (Active Arcade) sobre la velocidad de procesamiento cognitivo en estudiantes universitarios de primer semestre. Se hipotetizó que (H1) la intervención produciría mejoras estadísticamente significativas en el TMT adaptado en comparación con la evaluación basal; y que (H0) no se producirían tales diferencias.

Pregunta de investigación

¿Cuál es el efecto de una intervención de dos semanas con ejercicios de alta intensidad mediante realidad aumentada (Active Arcade) sobre la velocidad de procesamiento cognitivo, medida a través de una versión adaptada del Trail Making Test, en estudiantes universitarios de primer semestre del Programa de Cultura Física, Deporte y Recreación de la Universidad Santo Tomás?

Justificación

El presente estudio se justifica por la necesidad de comprender la relación entre los factores del estilo de vida y la velocidad de procesamiento cognitivo en estudiantes universitarios. Reloba, Chiroso y Reigal (2016) plantean que la actividad física tiene una influencia positiva sobre los procesos cognitivos, especialmente en funciones ejecutivas y atención. Según Kail (1991), la velocidad de procesamiento cognitivo se refiere al tiempo que tarda un individuo en procesar e integrar información durante la resolución de tareas cognitivas. La incorporación

del ejercicio de alta intensidad mediante realidad aumentada como estímulo cognitivo-motriz representa una estrategia innovadora y poco explorada en contextos universitarios latinoamericanos.

Materiales y métodos

1. Diseño de estudio

Se implementó un diseño cuasiexperimental pre-post con un único grupo experimental, sin asignación aleatoria ni grupo control, conforme a los principios del diseño cuasiexperimental descritos por Kazdin (2011). Las mediciones se realizaron en dos momentos: evaluación inicial (pre-intervención, semana 0) y evaluación final (post-intervención, semana 2).

2. Participantes

La muestra estuvo conformada por 27 participantes (19 hombres, 8 mujeres; M edad = 19.4 ± 2.1 años; rango: 18–35 años), provenientes de cuatro grupos académicos de primer semestre (semestres 2025-1, 2025-2 y 2026-1) del Programa de Cultura Física, Deporte y Recreación de la Universidad Santo Tomás, sede Bogotá. La selección se realizó mediante muestreo no probabilístico por conveniencia.

Los criterios de inclusión tuvieron en cuenta la firma y aceptación del consentimiento informado, un rango etario entre 18 a 35 años, la vinculación académica activa y un perfil de actividad física sedentario o bajo con mínima experiencia deportiva. En contraste, los criterios de exclusión tuvieron en cuenta diagnósticos de enfermedades neurológicas, psiquiátricas o trastornos cognitivos, así como el uso de medicamentos con acción en el sistema nervioso central, privación de sueño, consumo reciente de sustancias psicoactivas o alcohol, y deficiencias visuales no corregidas.

El análisis de potencia estadística post hoc, realizado mediante el módulo jpower de Jamovi (Paired Samples T-Test, $d = 0.15$, $n = 27$, $\alpha = .05$, bilateral), indicó una potencia alcanzada de .117, lo cual refleja una capacidad limitada para detectar efectos de magnitud pequeña, coherente con el carácter piloto y exploratorio del estudio. Un análisis a priori con una potencia deseada de .80 y un tamaño del efecto moderado ($d = 0.50$) habría requerido un mínimo de 34 participantes. Esta limitación deberá corregirse en investigaciones futuras mediante un diseño muestral prospectivo.

3. Consideraciones éticas

El estudio fue aprobado por el Comité de Investigaciones del programa, previo a la recolección de datos. Todos los participantes firmaron el consentimiento informado. Los datos fueron anonimizados y manejados de manera confidencial. El estudio fue clasificado como investigación sin riesgo mayor al mínimo, conforme a la Declaración de Helsinki y la Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia.

4. Intervención

La intervención consistió en 6 sesiones de ejercicio de alta intensidad mediante realidad aumentada con Active Arcade (3 sesiones semanales de aproximadamente 2 horas durante 2 semanas consecutivas), supervisadas por el equipo investigador. La intensidad se verificó mediante %FC_{máx} monitoreado con Polar Flow; los picos alcanzados durante los juegos confirmaron ejecución en zona de alta intensidad (>75% FC_{máx}). Cada sesión incluyó un único juego con rotación secuencial entre siete disponibles (con repetición de algunos a lo largo de las 6 sesiones): Whack a Mole, Bunny Hop, Cone Knockout, Box Attack, Reaction Flow, Laser Dodge y Superhits Slash. La Figura 1 presenta el diagrama de flujo del estudio.

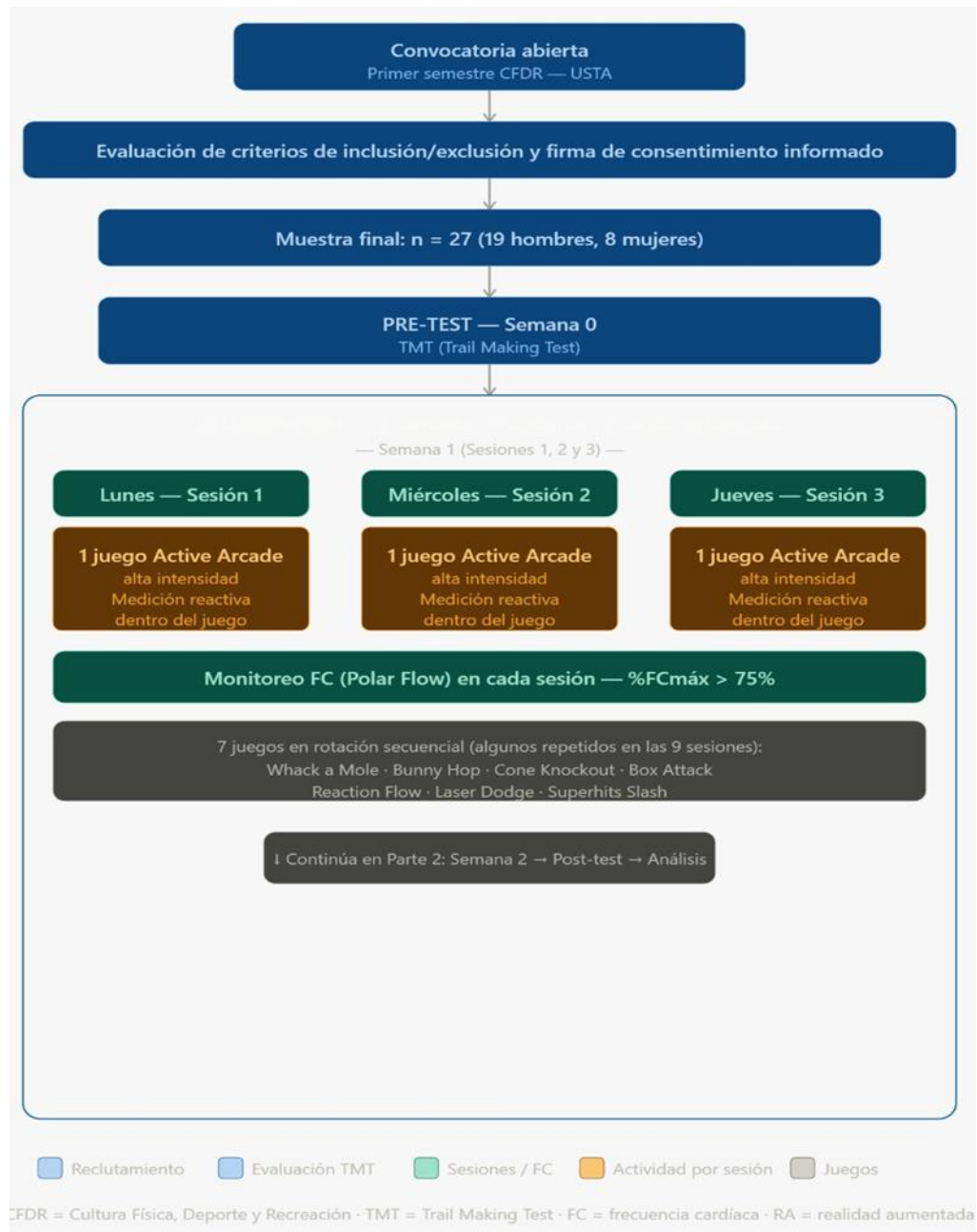


Figura 1
Diagrama de flujo del estudio e intervención.

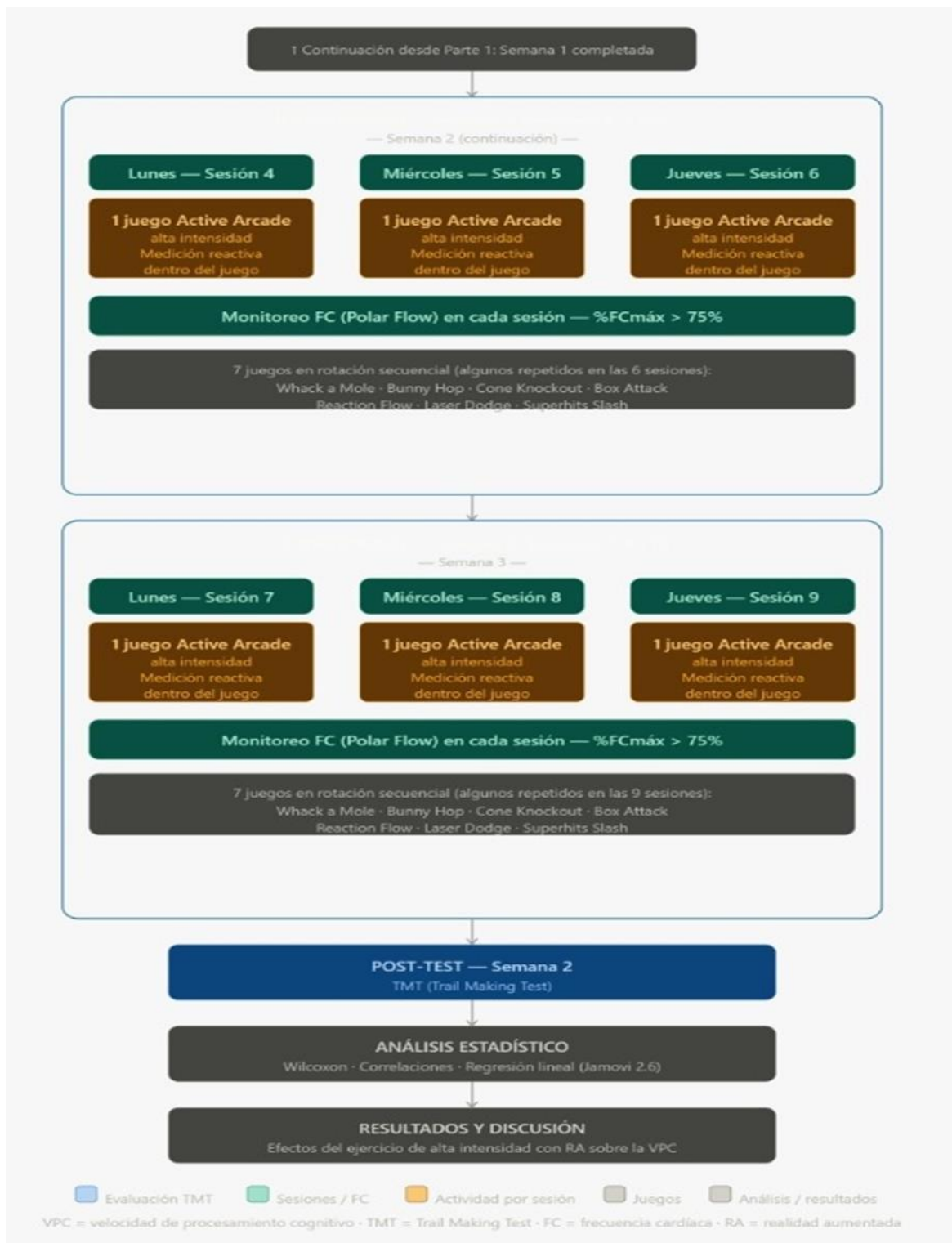


Figura 2
Diagrama de flujo del estudio e intervención

5. Variables e instrumentos de medición

La velocidad de procesamiento cognitivo se evaluó mediante una versión adaptada del Trail Making Test (TMT), empleada como proxy de velocidad de procesamiento visual y atención sostenida dentro del dominio ejecutivo. El TMT original consta de dos partes: la Parte A, que evalúa principalmente velocidad de procesamiento y rastreo visomotor, y la Parte B, que evalúa flexibilidad cognitiva, atención dividida y memoria de trabajo (Palesi et al., 2024; Recker et al., 2022). En el presente estudio se utilizó una versión adaptada al contexto de la intervención con realidad aumentada, registrando el tiempo de ejecución en segundos y el número de errores en las mediciones pre y post-intervención. La intensidad del ejercicio se cuantificó mediante %FC_{máx} registrado con Polar Flow. La exposición a pantallas con un cuestionario ad hoc; y el nivel de actividad física mediante autorreporte basado en criterios OMS (2020). La composición corporal (InBody) se utilizó como variable de control.

6. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron en Jamovi (versión 2.6; The jamovi project, 2024), con $\alpha = .05$. Las variables cuantitativas se presentaron como $M \pm DE$ para distribuciones normales, o como mediana [P25; P75] para no normales. La normalidad se evaluó con Shapiro-Wilk. Para la comparación pre-post se empleó la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas, dado el incumplimiento de normalidad en las distribuciones post-test. El tamaño del efecto se reportó mediante la correlación biseriada de rangos (r). La asociación entre los factores del estilo de vida y el cambio en la velocidad de procesamiento cognitivo ($\Delta = \text{post} - \text{pre}$) no pudo modelarse, dado que las bases de datos del cuestionario de hábitos y del TMT no compartían un identificador común que permitiera cruzar los registros individuales de manera confiable.

La elección de la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para la comparación pre-post se fundamenta en los resultados de la evaluación de supuestos. La prueba de Shapiro-Wilk indicó que las distribuciones post-test de ambas variables —tiempo de ejecución ($W = 0.913$, $p = .026$) y número de errores ($W = 0.751$, $p < .001$)— incumplieron el supuesto de normalidad. En presencia de este incumplimiento, el uso de pruebas paramétricas como la t de Student para muestras relacionadas o el ANOVA de medidas repetidas no es apropiado, ya que estos estadísticos asumen distribución normal de los datos o de los residuos. La prueba de Wilcoxon es el equivalente no paramétrico de la t de Student para muestras relacionadas, comparando las

medianas de las diferencias pre-post sin asumir ninguna distribución subyacente, lo que la convierte en la opción estadísticamente correcta para el presente conjunto de datos."

Resultados

Un total de 27 participantes completaron el estudio con datos válidos en ambas mediciones. Las características basales se presentan en la Tabla 2.

Tabla 1

Características basales de los participantes (n = 27)

Variable	n / M $\pm$ DE	Rango
Participantes (total)	27	—
Hombres / mujeres	19 / 8	—
Edad (años)	19.4 $\pm$ 2.1	18–35
Grupos académicos	4 grupos	CFDR 25-1, 25-2, 26-1

Nota. M = media; DE = desviación estándar; CFDR = Cultura Física, Deporte y Recreación.

La prueba de Shapiro-Wilk indicó distribución aproximadamente normal en el tiempo de ejecución pre ($W = 0.930$, $p = .068$) y errores pre ($W = 0.961$, $p = .394$), pero no en las distribuciones post-test: tiempo post ($W = 0.913$, $p = .026$) y errores post ($W = 0.751$, $p < .001$). Se emplearon estadísticos no paramétricos. Los estadísticos descriptivos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2

Estadísticos descriptivos del TMT adaptado por momento de evaluación (n = 27)

Variable	M	DE	Mediana	[P25; P75]
Tiempo pre (s)	30.60	17.28	26.00	[14.59; 46.30]
Tiempo post (s)	33.65	18.27	38.53	[20.67; 45.65]
Errores pre	12.07	6.19	12.00	[7.00; 16.00]
Errores post	12.04	8.09	10.00	[9.00; 13.00]

Nota. M = media; DE = desviación estándar; P25 = percentil 25; P75 = percentil 75. Tiempo en segundos (s).

La prueba de Wilcoxon no reveló diferencias estadísticamente significativas entre el pre-test y el post-test, ni en el tiempo de ejecución ($W = 204$, $p = .732$, $r = .079$), ni en el número de errores ($W = 204$, $p = .476$, $r = .162$; Tabla 4). El cambio promedio en el tiempo fue de 3.05 ± 20.88 s y en los errores de -0.04 ± 8.37 . En consecuencia, se acepta la hipótesis nula (H_0). La Figura 2 presenta la comparación gráfica de los resultados pre y post-intervención.

Tabla 3*Resultados de la prueba de Wilcoxon para la comparación pre-post (n = 27)*

Variable	W	p	r	p > α (.05)
Tiempo de ejecución (s)	204	.732	.079	.732 > .05
Número de errores	204	.476	.162	.476 > .05

Nota. W = estadístico de Wilcoxon; p = valor de significancia bilateral; r = correlación biseriada de rangos; p > α (.05) = ausencia de diferencias estadísticamente significativas. Software: Jamovi 2.6 (The jamovi project, 2024).

Discusión

El presente estudio evaluó el efecto de 6 sesiones de ejercicio de alta intensidad con Active Arcade sobre la velocidad de procesamiento cognitivo medida mediante una versión adaptada del TMT. Los resultados mostraron ausencia de cambios estadísticamente significativos, con tamaños de efecto pequeños ($r = .079$ tiempo; $r = .162$ errores), lo que conduce a la aceptación de H_0 .

Respecto a las variables evaluadas por el instrumento empleado, es importante precisar que el TMT original está diseñado en dos partes con propósitos diferenciados: la Parte A evalúa principalmente velocidad de procesamiento y rastreo visomotor, mientras que la Parte B evalúa flexibilidad cognitiva, atención dividida y memoria de trabajo (Palesi et al., 2024). La versión adaptada utilizada en este estudio se orientó hacia el componente de velocidad visomotora y tiempo de reacción secuencial. Sin embargo, Active Arcade estimula predominantemente la velocidad de reacción simple ante estímulos visuales no secuenciales y la coordinación óculo-manual, procesos que no son capturados con precisión por el TMT adaptado. Esta desalineación entre el proceso estimulado y el proceso medido constituye una limitación metodológica que puede explicar, al menos parcialmente, la ausencia de efectos significativos. Futuros estudios deberían emplear pruebas específicas de tiempo de reacción simple y de memoria de trabajo —como el Digit Span o el N-back— para capturar con mayor sensibilidad los procesos cognitivos estimulados por la realidad aumentada.

La ausencia de diferencias significativas es coherente con intervenciones de corta duración previas. Meiner et al. (2025), al evaluar el programa FIT FIRST Teen en 1,417 escolares, no encontraron diferencias significativas en su prueba principal ($p = .080$), aunque sí señales fisiológicas parciales ($d = 0.29$; $p = .039$). Esto sugiere que intervenciones breves pueden

generar adaptaciones fisiológicas incipientes sin alcanzar aún el umbral necesario para producir cambios cognitivos detectables. El incremento observado en el tiempo de ejecución post-test —mediana de 26.00 s pre vs. 38.53 s post— refleja más la variabilidad individual de la muestra ($DE = 17.28$ s) que un efecto adverso de la intervención.

Desde una perspectiva aplicada, el protocolo demostró viabilidad y adherencia en contexto universitario. El %FCmáx confirmó la ejecución en zona de alta intensidad, lo que es un elemento positivo del diseño. Sin embargo, la duración de dos semanas y seis sesiones es insuficiente para producir adaptaciones neuroplásticas detectables. La literatura especializada indica que los efectos sobre funciones ejecutivas requieren periodos superiores a ocho semanas con estimulación progresiva y controlada.

Limitaciones del estudio

El diseño cuasiexperimental sin grupo control impide descartar efectos de práctica, maduración o regresión a la media. La potencia estadística alcanzada fue de .117, lo que indica capacidad limitada para detectar efectos pequeños con $n = 27$; un análisis a priori habría requerido 34 participantes para una potencia de .80 con efecto moderado ($d = 0.50$). No fue posible modelar la correlación entre hábitos de vida y cambio en la VPC por ausencia de identificador común entre bases de datos. La versión adaptada del TMT constituye un proxy indirecto que no captura con precisión los procesos específicamente estimulados por Active Arcade, en particular el tiempo de reacción simple y la memoria de trabajo.

Implicaciones para futuras investigaciones

Se recomienda ampliar la intervención a un mínimo de ocho semanas, incluir grupo control aleatorizado, emplear instrumentos específicos para los procesos estimulados por la RA (pruebas de tiempo de reacción, Digit Span, N-back), establecer un identificador único desde el reclutamiento para el cruce de bases de datos, y realizar un cálculo de potencia a priori para determinar el tamaño muestral adecuado.

Referencias

Durán Osorno, K. M. (2025). Efecto del tiempo de pantalla y actividad física sobre la postura de jóvenes universitarios en tiempos de COVID-19. *Movimiento Científico*, 19(1), 11–22. <https://doi.org/10.33881/2011-7191.mtc.19102>

Figuerola Rochin, C. A., Roa Rivera, R. I., & Solís Cortés, F. F. (2025). Realidad aumentada, una tecnología estratégica para impulsar el aprendizaje en las aulas universitarias. *Hachetetepe. Revista científica de educación y comunicación*, (30). <https://doi.org/10.25267/Hachetetepe.2025.i30.1103>

Kail, R. V. (1991). Developmental change in speed of processing during childhood and adolescence. *Psychological Bulletin*, 109(3), 490–501. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.109.3.490>

Kazdin, A. E. (2011). *Single-case research designs* (2nd ed.). Oxford University Press. [10.1080/07317107.2012.654458](https://doi.org/10.1080/07317107.2012.654458)

López-Valenciano, A., et al. (2021). Actividad física y función cognitiva en adultos jóvenes: revisión sistemática. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 17(63), 45–62.

Meiner, C. B., Eckert, C., Aggestrup, C. S., Pfeffer, K., Koch, S., Thøgersen-Ntoumani, C., Ntoumanis, N., Krstrup, P., & Larsen, M. N. (2025). FIT FIRST teen — a cluster RCT evaluating the effects of a 10-week high-intensity exercise intervention for 12–15-yr-old school children. *Journal of Sports Sciences*, 43(15), 1480–1489. <https://doi.org/10.1080/02640414.2025.2505380>

Meléndez Araya, N. M., & Velásquez Egaña, B. N. (2025). Uso de la realidad aumentada en primeros años de educación: Una mirada desde la literatura. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 33. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052025000100206>

Ministerio de Salud de Colombia. (1993). Resolución 8430 de 1993.

Organización Mundial de la Salud. (2020). Directrices de la OMS sobre actividad física y hábitos sedentarios. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240015128>

Polar Electro. (s.f.). Polar Flow. <https://www.polar.com/co-es/flow>

Reloba, S., Chiroso, L. J., & Reigal, R. E. (2016). Relación entre actividad física, procesos cognitivos y rendimiento académico de escolares: revisión de la literatura actual. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 9(4), 166–172. <https://doi.org/10.1016/j.ramd.2015.05.008>

The jamovi project. (2024). jamovi (Version 2.6) [Computer Software]. <https://www.jamovi.org>

Varela, M. T., Duarte, C., Salazar, I. C., Lema, L. F., & Tamayo, J. A. (2011). Actividad física y sedentarismo en jóvenes universitarios de Colombia. *Colombia Médica*, 42(3), 269–277. <https://doi.org/10.25100/cm.v42i3.872>