

## Capacidades físicas y su relación con la memoria, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad en adolescentes

### Physical capacities and their relation with memory, mathematical calculation, linguistic reasoning, and creativity in adolescents

\*Alberto Mezcua-Hidalgo, \*Alberto Ruiz-Ariza, \*\*Vania A. Ferreira Brandão de Loureiro, \*Emilio J. Martínez-López

\*Universidad de Jaén (España), \*\*Instituto Politécnico de Beja (Portugal)

**Resumen.** El objetivo del presente estudio fue analizar la asociación del nivel de condición física con variables de rendimiento cognitivo como memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad. La muestra estaba formada por 163 adolescentes (78 chicas y 85 chicos) de  $13,9 \pm 1,4$  años. La memoria se evaluó mediante una adaptación propia basada en la prueba RIAS. Para el cálculo matemático y el razonamiento lingüístico se usaron tests *ad hoc* y para la creatividad el test CREA. Los análisis mostraron que la resistencia cardiorrespiratoria de los jóvenes se asocia a mejores niveles de memoria ( $p = ,027$ ), cálculo matemático ( $p = ,035$ ), razonamiento lingüístico ( $p = ,014$ ) y creatividad ( $p = ,005$ ), independientemente de la edad, sexo e índice de masa corporal de los jóvenes. Sin embargo, mejores niveles de velocidad-agilidad, fuerza y flexibilidad no se relacionaron con mejoras en ninguna de las variables dependientes analizadas (todos  $p > ,05$ ). Se concluye que la resistencia cardiorrespiratoria es el componente de la condición física que en mayor medida se relaciona con altas capacidades cognitivas de los jóvenes. Se sugiere, que desde la Educación Física se implementen programas específicos para incrementar el nivel de capacidad cardiorrespiratoria, con prácticas sistemáticas especialmente durante el periodo extraescolar.

**Palabras clave:** capacidad cardiorrespiratoria, Educación física, rendimiento cognitivo, pensamiento divergente.

**Abstract:** The aim of the present study was to analyze the association of the level of physical fitness with variables of cognitive performance such as memory, mathematical calculation, speed of linguistic reasoning, and creativity. The sample consisted of 163 adolescents (78 girls and 85 boys) aged  $13.9 \pm 1.4$  years old. Memory was evaluated through an own adaptation based on the RIAS test. *Ad hoc* tests were used for mathematical calculation and linguistic reasoning, and the CREA test for creativity. The analyses showed that youth's cardiorespiratory fitness is associated with better levels of memory ( $p = ,027$ ), mathematical calculation ( $p = ,035$ ), linguistic reasoning ( $p = ,014$ ), and creativity ( $p = ,005$ ) regardless of age, sex, and body mass index. However, better levels of speed-agility, strength, and flexibility were not related with improvements in any of the dependent variables analyzed (all  $p > ,05$ ). Cardiorespiratory fitness is the physical fitness component with the highest relation with cognitive abilities in youngsters. We suggest the implementation of specific programs aimed at increasing cardiorespiratory fitness levels through Physical Education, especially employing systematic physical activity practices during the extracurricular period.

**Keywords:** Cardiorespiratory fitness, Physical Education, cognitive performance, divergent thinking.

### Introducción

La condición física hace referencia a un conjunto de capacidades que engloban la resistencia cardiorrespiratoria, velocidad, fuerza muscular y la flexibilidad, estando también mediatizadas por otras de tipo neuromuscular como la coordinación y el equilibrio. En jóvenes, los efectos en la salud de una adecuada condición física están ampliamente contrastados (Kujala, 2018) y existe un amplio consenso en que mejora el sistema músculo-esquelético, reduce el riesgo de enfermedades cardiometabólicas (Ortega, Ruiz, Castillo y Sjöström, 2008) y disminuye el riesgo de mortalidad prematura (Ortega, Silventoinen, Tynelius y Rasmussen, 2012). Sin embargo, la relación respecto a las múltiples variables cognitivas no están del todo contrastadas (Hogan, Kiefer, Kubesch, Collins, Kilmartin y Brosnan, 2013; Martínez-López, Moreno-Cerceda, Suárez-Manzano y Ruiz-Ariza, 2018; Morales, González, Guerra, Virgili y Unnithan, 2011).

Estudios previos, han mostrado que la práctica sistemática de actividad física (AF) y el nivel de condición física en los jóvenes puede influir positivamente en la memoria, el cálculo matemático y el razonamiento lingüístico, todas ellas consideradas variables clave para el desarrollo académico de los adolescentes (Huang et al., 2015; Muntaner-Mas,

Palou, Vidal-Conti y Esteban-Cornejo, 2018; Ruiz-Ariza, de la Torre-Cruz, Suárez-Manzano y Martínez-López, 2017a; Ruiz-Ariza, Casuso, Suarez-Manzano y Martínez-López, 2018). También, se ha relacionado con la creatividad, llegando a mostrar en jóvenes más altos niveles de pensamiento divergente (Torrance, 1966). Lo anterior conforma un estilo de pensamiento que da lugar a la generación de ideas novedosas donde es correcta más de una solución ante el mismo problema (Santos, Memmert, Sampaio y Leite, 2016). Además, una alta creatividad se relacionan con menor angustia psicológica y depresión (Corbalán y Limiñana-Gras, 2010) y contribuye notablemente al éxito personal y laboral de una persona (Heilman, 2016). Por tanto, parece que la práctica de AF y nivel de condición física, podría ejercer beneficios a nivel neurocognitivo, e influir en el incremento de la oxigenación cerebral, que podría afectar positivamente a la cognición (Ruiz-Ariza, Grao-Cruces, Marques De Loureiro y Martínez-López, 2017b; Ruiz-Ariza, Suárez-Manzano, López-Serrano y Martínez-López, 2019).

Dentro de la Educación Física (EF), las capacidades físicas son evaluadas habitualmente mediante el empleo de test motores, a veces incluidos en baterías como ALPHA-Fitness (Ruiz et al., 2011) o EUROFIT (1993). Para algunos investigadores, un mejor nivel de condición física podría optimizar las funciones cognitivas y promover un incremento del rendimiento cerebral (Chaddock-Heyman et al., 2014; Huang et al., 2015; Ruiz-Ariza et al., 2017b; Tomporowski, McCullick,

Pendleton y Pesce, 2015). Capacidades como la resistencia cardiorrespiratoria y fuerza muscular parece que influyen positivamente en el rendimiento cognitivo de jóvenes adolescentes, y en menor medida la velocidad y la flexibilidad (Ruiz et al., 2010). Sin embargo, los resultados no son concluyentes y se desconoce la posible influencia de otras variables que se consideran determinantes en la mayor parte de los estudios llevados a cabo en adolescentes como la edad, sexo y el índice de masa corporal [IMC] (Esteban-Cornejo et al., 2014).

En base a los anteriores argumentos, el objetivo del presente estudio fue analizar la asociación de la resistencia cardiorrespiratoria, fuerza muscular, velocidad y flexibilidad con la memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad, independientemente de la edad, sexo e IMC en un grupo de adolescentes españoles. Este estudio hipotetizó que los jóvenes con mejor condición física mostrarían mejores niveles de rendimiento cognitivo.

## Material y método

### Participantes

Un total de 163 adolescentes (78 chicas y 85 chicos) de  $13,9 \pm 1,4$  años de edad (rango: 12-16 años) participaron en el presente estudio transversal. Los participantes pertenecían a dos Centros de Educación Secundaria de la provincia de Jaén (España) que fueron seleccionados por conveniencia. Un instituto estaba ubicado dentro de ambiente urbano y el otro pertenecía a una población rural (<10.000 habitantes). Dentro de cada Centro Educativo se seleccionó aleatoriamente un grupo de clase de cada nivel (1º, 2º, 3º y 4º curso). Los datos fueron obtenidos durante tres clases de Educación Física dentro del curso académico 2016-2017. Todos los alumnos de los grupos seleccionados ( $n=188$ ) fueron invitados a participar en el estudio. Sin embargo, los resultados de 25 alumnos (13,3%) fueron excluidos de la muestra final ( $n=163$ ) debido a falta de autorización parental o imposibilidad de llevar a cabo test de condición física. La tabla 1 presenta las características descriptivas de la muestra de estudio.

Tabla 1.  
Características descriptivas de la muestra.

Variables	Todos (n = 163)		Chicas (n = 78)		Chicos (n = 85)		p
	Media	DT (%)	Media	DT (%)	Media	DT (%)	
Edad (años)	13,88	1,374	13,64	1,292	14,10	1,417	,002
Peso (kg)	56,84	11,93	54,07	9,16	59,40	13,55	<,001
Talla (m)	1,63	,095	1,59	,064	1,67	,105	<,001
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	21,27	3,75	21,30	3,47	21,25	4,01	,943
Course Navette	5,82	2,43	4,68	1,27	6,87	2,76	<,001
4x10m (s)	12,42	1,47	13,01	1,34	11,89	1,39	<,001
Salto horizontal (cm)	161,36	32,31	144,3	25,44	176,8	30,13	<,001
Sit-and-Reach (cm)	16,61	8,41	18,18	8,12	15,05	8,71	<,001
Memoria	4,73	1,97	4,60	2,02	4,84	1,92	,262
Cálculomatemático	6,78	3,20	6,44	3,04	7,11	3,33	,052
Razonamientolingüístico	20,90	4,76	20,83	4,75	20,96	4,78	,803
Creatividad	13,39	4,41	13,55	4,37	13,23	4,45	,507

Los datos se presentan como media (DT) y desviación típica (DT). IMC = Índice de Masa Corporal.

### Procedimiento

Antes de comenzar el estudio, los padres, dirección del Centro y profesores de EF fueron informados del propósito del mismo. Se obtuvo el consentimiento informado de los padres o tutores legales. El nombre de cada alumno participante fue codificado para asegurar el anonimato y confidencialidad. Las mediciones de las pruebas de condición física y de rendimiento cognitivo, fueron realizadas en

las clases de EF por miembros instruidos del grupo de investigación y bajo la supervisión del profesor de EF. Todas ellas siguieron los protocolos estandarizados mostrados en las publicaciones que las han usado previamente. El estudio fue aprobado por el Comité de Bioética de la Universidad de Jaén. Además, se tuvo en cuenta la Ley de Investigación Biomédica (2007), la ley de protección de datos personales (Ley Orgánica 15/1999), así como los principios fundamentales de la Declaración de Helsinki (revisión de 2013).

### Variable predictora: Nivel de condición física

El nivel de condición física se evaluó mediante la batería de test físicos relacionados con la salud en jóvenes ALPHA-Fitness (Ruiz et al., 2011). La resistencia cardiorrespiratoria fue evaluada mediante el test de 20 m de ida y vuelta (Course navette). Este test consiste en una prueba incremental de ida y vuelta sobre una distancia de 20 m, aumentando la velocidad en 0.5 km/h cada minuto. Los participantes debían correr entre dos líneas delimitadas a 20 m de distancia al ritmo que marcaba las señales sonoras. El test parte con una velocidad inicial de 8.5 km/h y se da por finalizado cuando el sujeto se detiene por el cansancio acumulado o cuando no llega a la línea correspondiente en dos ocasiones consecutivas. En cada participante se registró el número de periodos superados al finalizar la prueba. Este test, se realizó una única vez al final de la sesión de toma de datos. El test de ida y vuelta 4x10 m fue el utilizado para medir la velocidad-agilidad de movimiento. Los participantes realizaron 4 carreras de ida y vuelta a máxima velocidad sobre una distancia de 10 m. Se llevó a cabo el test dos veces y se registró el mejor tiempo en segundos de ambas carreras. La puntuación obtenida en este test se debe interpretar de forma inversa, es decir, cuantos más segundos empleados en completar el test menor velocidad motora. La fuerza muscular se obtuvo mediante el salto de longitud a dos piernas. La prueba se llevó a cabo con los pies detrás de la línea con las piernas colocadas con una apertura a la altura de los hombros. El test se llevó a cabo dos veces y se registró la mayor distancia en centímetros. Para medir la flexibilidad se realizó la prueba de sit-and-reach (Castro-Piñero et al., 2009). La prueba se realizó con una caja especial de 33 cm con una regla deslizante colocada en la parte superior. Los sujetos se sientan en el suelo con las rodillas extendidas, el ancho de los hombros separados y los pies colocados en contacto con el fondo de la caja. Se pidió a los participantes que doblaran el tronco y extendieran sus brazos hacia adelante lo máximo posible, manteniendo la posición final al menos dos segundos. La prueba se realizó dos veces y el mejor resultado se registró en cm. Las puntuaciones más altas indicaron una mejor flexibilidad (Castro-Piñero et al., 2009).

### Variables dependientes

#### Memoria

Para evaluar la memoria se empleó una prueba *ad hoc* de 1 minuto, a partir de las ideas originales de la prueba de memoria incluidas en la adaptación española de la Escala de inteligencia de Reynolds [RIAS] (Santamaría-Fernández & Fernández-Pinto, 2013). Se proyectó un póster de 15 naipes españoles, seleccionados al azar, durante 20 segundos en

una pantalla de 3 x 2 metros. Inmediatamente después, los participantes tenían 40 segundos para registrar en una hoja estandarizada la mayor cantidad de tarjetas recordadas. Se contó el número total de respuestas correctas (rango 0-15). Antes de la prueba, se verificó que todos los participantes conocían la estructura y el contenido de las 40 cartas de la baraja española. Este test de memoria ha sido también usado previamente en otras recientes investigaciones con una fiabilidad test-retest (48 horas, n = 21) de 0.919 (Ruiz-Ariza et al., 2018).

#### *Cálculo Matemático*

Se realizó una adaptación de la escala de cálculo matemático llevada a cabo por Hillman et al. (2009). Con esta prueba, se pretendió comprobar la capacidad de procesamiento, velocidad y resolución de operaciones matemáticas. Este test consistía en la presentación de 2 columnas de operaciones matemáticas sencillas basadas en sumas y restas con 6 dígitos. Para realizar la prueba se disponía de un minuto en el cual se debía de resolver el mayor número posible de operaciones. Para evaluar dicha prueba, se cuenta el número de aciertos del total de las operaciones realizadas. Estudios previos muestran una fiabilidad test-retest (48 horas, n = 21) de 0.887 (Ruiz-Ariza et al., 2018).

#### *Velocidad de razonamiento lingüístico*

La velocidad de razonamiento lingüístico se midió mediante un test *ad hoc* basado en el estudio de Lervåg y Aukrust (2010). El objetivo de esta prueba fue analizar la velocidad lectora y comprensión del alumnado. Ésta prueba consistió en la presentación de 30 filas de 4 palabras cada una establecidas de forma aleatoria. De estas palabras, 3 eran pertenecientes al mismo campo semántico mientras la cuarta palabra no presentaba relación alguna con las otras. Los alumnos que realizaban la prueba debían tachar, durante el periodo de un minuto, el mayor número posible de palabras «intrusas» o que no presentaban relación con las demás. La forma de evaluación del test consistió en la suma de las palabras seleccionadas de forma correcta. Estudios previos muestran una fiabilidad test-retest (48 horas, n = 21) de 0.841 (Ruiz-Ariza et al., 2018).

#### *Creatividad*

Para evaluar esta variable se utilizó la prueba de inteligencia creativa (CREA) creada por Corbalán-Berná et al. (2010). Esta prueba de pensamiento divergente está dirigida a generar preguntas como indicador de talento creativo, originalidad y efectividad. Estas preguntas se llevan a cabo con un estímulo y un tiempo determinados, donde cada uno de ellos debe respaldarse en un nuevo esquema cognitivo, que a su vez, depende de al menos otros dos. A partir de una imagen, los participantes tienen que elaborar tantas preguntas como sea posible durante 4 minutos. Se asignó un puntaje a cada pregunta según su calidad y complejidad en base a unos criterios establecidos por los autores en el manual del test (puntuajes posibles en base a la elaboración de la pregunta: 1 = bajo, 2 = medio, 3 = alto). La prueba CREA permite una mejor gestión de los esquemas cognitivos ya que no contempla la pregunta como producto final. La validez predictiva y concurrente de CREA fue alta en comparación con otras

baterías creativas como Guilford ( $p < .005$ ).

#### *Variables de confusión controladas*

Para medir el peso se empleó la báscula digital ASIMED® tipo B clase-III (Spain) y para la altura el tallímetro portátil SECA 214 (SECA® Ltd., Hamburgo, Germany). Ambas medidas se usaron para calcular el IMC (expresado en  $\text{kg}/\text{m}^2$ ) de los participantes. Además, se controló la edad y el sexo como covariables.

#### *Análisis estadístico*

Los datos se presentan como media y desviación típica (DT). Las diferencias entre sexos fueron comparadas mediante la *t* de student. La asociación de la resistencia cardiorrespiratoria, velocidad-agilidad, la fuerza muscular y la flexibilidad (variables predictoras) con la memoria, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad fue analizada mediante regresión lineal múltiple, ajustando por edad, sexo e IMC. Se estudió la interacción entre sexo \* cada capacidad física y cada variable dependiente y no se observó interacción significativa (todos  $p > 0,05$ ), por esta razón se llevaron a cabo los análisis con chicos y chicas juntos. El criterio para establecer la significatividad estadística se fijó en  $p < ,05$ . Se usó el programa estadístico SPSS versión 22.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago).

#### **Resultados**

La tabla 1 muestra que la resistencia cardiorrespiratoria, velocidad-agilidad y fuerza muscular fueron significativamente superiores en chicos que en chicas ( $p < ,05$ ), sin embargo en la flexibilidad las chicas obtuvieron valores superiores ( $p < ,05$ ). Los chicos mostraron un mayor peso y talla que las chicas (ambos  $p < ,001$ ), pero valores similares de memoria, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad (todos  $p > ,05$ ).

#### *Análisis de regresión lineal entre Course navette y memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad*

Los resultados de asociación entre capacidad cardiorrespiratoria y memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad, ajustadas por edad, sexo e IMC se presentan en la Tabla 2. Los adolescentes que presentaban unos mejores niveles de capacidad cardiorrespiratoria tenían a su vez mejores niveles de memoria ( $\hat{\alpha} = ,197$ ; error estándar (EE) =  $,088$ ;  $p = ,027$ ), de cálculo matemático ( $\hat{\alpha} = ,272$ ; EE =  $,128$ ;  $p = ,035$ ), razonamiento lingüístico ( $\hat{\alpha} = ,479$ ; EE =  $,193$ ;  $p = ,014$ ) y creatividad ( $\hat{\alpha} = ,485$ ; EE =  $,172$ ;  $p = ,005$ ).

Tabla 2.

Asociación entre resistencia cardiorrespiratoria y memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad, ajustadas por edad, sexo e IMC

	Memoria			Cálculo matemático			Razonamiento lingüístico			Creatividad		
	$\beta$	EE	p	$\beta$	EE	p	$\beta$	EE	p	$\beta$	EE	p
Edad (años)	-.110	.141	.435	.060	.204	.770	.510	.308	.100	.214	.274	.434
Sexo	-.074	.384	.847	-1.404	.560	.013	.147	.844	.862	.970	.750	.198
IMC ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	.062	.053	.243	.000	.078	.997	-.050	.118	.674	.105	.105	.317
Capacidad cardiorrespiratoria	.197	.088	.027	.272	.128	.035	.479	.193	.014	.485	.172	.005

Nota: Valor de la beta no estandarizada (B), error estándar (EE), IMC = índice de masa corporal ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ). La resistencia cardiorrespiratoria fue medida mediante el test Course navette.

### **Análisis de regresión lineal entre Velocidad-agilidad 4x10 m y memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad**

Los resultados de asociación entre los valores de velocidad 4x10 y variables cognitivas de memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad, ajustadas por edad, sexo e IMC se presentan en la Tabla 3. Los adolescentes que presentaban unos mejores niveles de velocidad-agilidad no se relacionaron con mejoras en ninguna de las variables dependientes analizadas (todos  $p > .05$ ).

### **Análisis de regresión lineal entre salto horizontal y memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad**

Los resultados de asociación entre resultados de salto horizontal y variables cognitivas de memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad, ajustadas por edad, sexo e IMC se presentan en la Tabla 4. Los adolescentes que presentaban unos mejores niveles de fuerza de tren inferior no se relacionaron con mejoras en ninguna de las variables dependientes analizadas (todos  $p > .05$ ).

### **Análisis de regresión lineal entre valores de flexibilidad y memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad**

Los resultados de asociación entre valores de flexibilidad y variables cognitivas de memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad, ajustadas por edad, sexo e IMC se presentan en la Tabla 5. Los adolescentes que presentaban unos mejores niveles de flexibilidad no se relacionaron con mejoras en ninguna de las variables dependientes analizadas (todos  $p > .05$ ).

## **Discusión**

El presente trabajo ha analizado la asociación entre el nivel de condición física y variables de rendimiento cognitivo en estudiantes de Educación Secundaria. Los resultados muestran que los adolescentes que tienen mejor capacidad cardiorrespiratoria presentan más altos niveles de memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad. Sin embargo, no se han hallado relaciones significativas en velocidad-agilidad, fuerza muscular y flexibilidad con respecto a las variables cognitivas estudiadas.

Estudios previos analizaron de forma transversal la relación entre el nivel de condición física general y el rendimiento cognitivo en jóvenes, obteniendo en todos ellos resultados positivos (Morales et al., 2011; Planinsec y Pisot, 2006). De forma similar a nuestro estudio, Chen et al. (2013) comprobaron que la resistencia cardiorrespiratoria es la capacidad física que en mayor medida se asocia con la cognición. De una forma más específica, Bass, Brown, Laurson y Coleman (2013), y Huang et al. (2015), encontraron una asociación positiva entre la capacidad cardiorrespiratoria y las puntuaciones en Matemáticas, y Raine, Biggan, Baym, Saliba, Cohen y Hillman (2018) obtuvieron relación positiva respecto a la velocidad de lectura. Los resultados de este estudio son similares a aquellos que también sugirieron una relación positiva entre la capacidad cardiorrespiratoria y mejoras en

Tabla 3. Asociación entre velocidad y memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad, tras ajustar por edad, sexo e IMC

	Memoria			Cálculo matemático			Razonamiento lingüístico			Creatividad		
	$\beta$	EE	p	$\beta$	EE	p	$\beta$	EE	p	$\beta$	EE	p
Edad (años)	.113	.143	.430	.173	.206	.402	.651	.311	.038	.001	.278	.996
Sexo	-.774	.381	.044	-1.774	.568	.002	-.310	.858	.719	.274	.767	.722
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	-.044	.055	.423	-.050	.081	.541	-.106	.122	.388	.008	.109	.945
4x10 (s)	.343	.147	.211	-.101	.211	.635	-.375	.319	.242	-.110	.285	.700

Nota: Valor de la beta no estandarizada ( $\beta$ ), error estándar (EE), IMC = índice de masa corporal (kg/m<sup>2</sup>). Esta variable fue medida mediante el test de Velocidad-agilidad 4x10 m.

Tabla 4. Asociación entre fuerza muscular y memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad, tras ajustar por edad, sexo e IMC

	Memoria			Cálculo matemático			Razonamiento lingüístico			Creatividad		
	$\beta$	EE	p	$\beta$	EE	p	$\beta$	EE	p	$\beta$	EE	p
Edad (años)	.021	.146	.886	.153	.210	.468	.528	.314	.095	-.141	.281	.616
Sexo	-.530	.404	.192	-1.693	.592	.005	.169	.886	.849	.808	.793	.310
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	.003	.054	.956	-.045	.079	.568	-.070	.119	.555	.062	.106	.561
Salto horizontal	-.004	.007	.592	.007	.010	.504	.031	.015	.099	.023	.013	.089

Nota: Valor de la beta no estandarizada ( $\beta$ ), error estándar (EE), IMC = índice de masa corporal (kg/m<sup>2</sup>). Nota: La Fuerza muscular fue medida con el test de Salto horizontal.

Tabla 5. Asociación entre la flexibilidad y memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad, tras ajustar por edad, sexo e IMC

	Memoria			Cálculo matemático			Razonamiento lingüístico			Creatividad		
	$\beta$	EE	p	$\beta$	EE	p	$\beta$	EE	p	$\beta$	EE	p
Edad (años)	.031	.156	.576	.161	.191	.438	.418	.2143	.125	-.121	.272	.609
Sexo	-.527	.394	.182	-1.681	.572	.004	.156	.866	.839	.788	.783	.304
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	.013	.064	.856	-.047	.077	.558	-.080	.129	.545	.063	.116	.569
Flexibilidad	-.014	.017	.691	.011	.013	.521	.028	.019	.089	.013	.020	.101

Nota: Valor de la beta no estandarizada ( $\beta$ ), error estándar (EE), IMC = índice de masa corporal (kg/m<sup>2</sup>). Nota: La Flexibilidad fue medida con el test Sit-and-reach.

el cálculo matemático y en la resolución de problemas de aritmética (Moore et al., 2014), así como con mayor riqueza de palabras y sus significados, lo que determina un mayor nivel y control del lenguaje (Scudder et al., 2014). En el caso de este trabajo, se confirmaría que la anterior asociación positiva se produce independientemente de la edad, sexo e IMC de los adolescentes. En esta línea, Muntaner-Mas et al. (2018), muestran que la condición física afecta al rendimiento académico independientemente del nivel de obesidad. Por su parte, Åberg et al. (2009) llevaron a cabo un estudio con más de un millón de participantes, donde hallaron que la capacidad cardiorrespiratoria, alcanzada entre los 15-18 años, predecía la capacidad lógico-verbal al superar la mayoría de edad. Otros estudios como el de Durán y Costes (2018), mostró también la relación entre mayor práctica de AF e inteligencia emocional. Por tanto, esta relación positiva entre resistencia cardiorrespiratoria y cognición en jóvenes viene a complementar anteriores hallazgos que confirmaban la relación entre la práctica de AF diaria y cognición. Trabajos longitudinales con intervención de Budde et al. (2008) y Hogan et al. (2013), obtuvieron que realizar ejercicio aeróbico moderado tenía efectos positivos sobre el rendimiento cognitivo. Asimismo, incluir carreras aeróbicas interválicas en EF ejerce una influencia positiva en la velocidad numérica y resolución de problemas matemáticos simples (Travlos, 2010). Y finalmente, programas de AF cooperativa a alta intensidad durante 12 semanas en las clases de EF han mostrado mejoras en la creatividad, especialmente en los jóvenes adolescentes menos activos físicamente (Ruiz-Ariza et al., 2019). Todo lo anterior confirma que, especialmente desde la EF, se debe incluir programas sistemáticos para aumentar tanto la frecuencia semanal de práctica como el nivel de resistencia cardiorrespiratoria.

Por otra parte, este estudio no halló resultados significativos de asociación entre la velocidad-agilidad y la cognición. Estos resultados difieren de los hallados por Esteban-Cornejo et al. (2014), Torrijos-Niño et al. (2014), o Martínez-

López, Grao-Cruces, De la Torre-Cruz y Ruiz-Ariza, (2019), que sí obtuvieron relación entre la velocidad-agilidad y el rendimiento escolar en Matemáticas o Lengua. Otros estudios han demostrado también que este componente se asocia con la memoria (Niederer et al., 2011), con el control inhibitorio y la atención (Haapala, 2013). Consecuentemente, déficits en la variable de velocidad-agilidad son a menudo asociados con trastornos cognitivos y de aprendizaje (Haapala, 2013). Por tanto, un escaso nivel de actividad motora podría contribuir negativamente al desarrollo cognitivo y a una empeoramiento del rendimiento académico (Kantomaa et al., 2013). Nuestro trabajo tampoco halló resultados significativos con respecto a la fuerza muscular. El análisis comparativo de estos resultados coincide solo en parte con respecto a investigaciones previas. Mientras algunos estudios transversales comprobaron que la fuerza se asociaba con el rendimiento académico escolar (Bezold et al., 2014; Van Dusen et al., 2011), otros no hallaron relación (Chen et al., 2013). También se ha comprobado que la fuerza perdía la asociación con el rendimiento en Matemáticas y Lengua cuando se analizaba de forma combinada junto a la capacidad cardiorrespiratoria y velocidad-agilidad (Esteban-Cornejo et al., 2014). Por otra parte, estudios longitudinales no mostraron relación entre la fuerza y el rendimiento cognitivo (Ardoy et al., 2014). Y en la misma línea, mejoras en fuerza entre los 15 y los 18 años no predijeron la inteligencia global a los 18 años (Aberg et al., 2009). Respecto a la flexibilidad, dos revisiones sistemáticas independientes llevadas a cabo por Ruiz-Ariza et al. (2017b) y Santana et al. (2017), mostraron que no existe asociación entre esta capacidad física y variables cognitivas. De este modo, tanto la velocidad-agilidad como la fuerza muscular presentan controversia con respecto a su relación con aspectos cognitivos en jóvenes. Mientras que los estudios que analizan la flexibilidad coinciden en su no efecto sobre los mismos.

Las posibles causas de la asociación entre un mejor rendimiento cardiorrespiratorio y variables cognitivas como memoria, cálculo matemática, velocidad de razonamiento lingüístico o creatividad no pueden ser descritas a partir de los resultados del presente estudio. Sin embargo, existen algunos razonamientos que pueden esclarecer nuestros hallazgos. Por ejemplo, un aumento de la capacidad cardiorrespiratoria podría estimular la angiogénesis, neurogénesis y sinaptogénesis, mejorando la vascularización cerebral, o el número de neuronas, afectando a la cognición (Ruiz-Ariza et al., 2017b). Un mejor fitness puede provocar la acumulación de D-bihidroxitirato en el hipocampo que sirve como fuente de energía e inductor de BDNF, que es clave para la capacidad memorística y el funcionamiento cerebral (Sleiman et al., 2016). En este sentido, un fomento de la capacidad cardiorrespiratoria desde los estamentos educativos, durante la adolescencia, podría ser clave para el incremento del rendimiento cognitivo. Sin embargo, la relación entre velocidad-agilidad, fuerza, flexibilidad y las variables cognitivas, aún no está clara y presenta controversia que puede ser explicada por varios factores: a) La influencia colateral de los demás componentes del fitness cuando se analizan de forma conjunta, b) El uso de test variados para medir las variables (Torrijos-Niño et al., 2014), c) Los distintos tamaños en las muestras empleadas (Chen et al., 2013), y d) El programa y

estímulo planteado, método, y de forma muy especial, las covariables controladas (Chen et al., 2013; Esteban-Cornejo et al., 2014).

En base a lo anterior, algunas implicaciones educativas que se pueden extraer sería la aplicación de programas específicos en las clases de EF enfocados al fomento de la condición física de los jóvenes. Además, desde los estamentos educativos debería incentivarse la práctica de AF extraescolar, y animar a los padres a la promoción de esta en sus hijos durante la adolescencia. Asimismo, un control individualizado de la condición física de los jóvenes desde la asignatura de EF, podría ayudar personalizar los programas, así como a proponer «deberes» escolares destinados a la mejora de la condición física de cada alumno.

Por último, este trabajo no está exento de algunas limitaciones. Por ejemplo, su naturaleza transversal hace que no puedan ser establecidas relaciones de causalidad. Además, se podrían haber controlado más covariables de carácter socioeconómico o educativo para evitar el sesgo en los análisis. En algunos casos, los adolescentes podrían haber contestado a los test cognitivos erróneamente, de forma deliberada o sin mala intención. Consideramos que estos errores se han reducido notablemente por el hecho de que los cuestionarios eran anónimos y se ha utilizado la codificación para asegurar el anonimato y confidencialidad de los participantes y las respuestas emitidas. No obstante, el empleo de test validados de condición física y la inclusión de variables dependientes novedosas son puntos fuertes a destacar del presente estudio.

## Conclusiones

Se concluye que una alta resistencia cardiorrespiratoria se asocia con una mayor memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad en los adolescentes, independientemente de la edad, sexo e IMC. Estas asociaciones no se hallaron en la velocidad-agilidad, fuerza y flexibilidad. Se sugiere, que desde la EF se implementen programas específicos para incrementar el nivel de capacidad cardiorrespiratoria con prácticas sistemáticas especialmente durante el periodo extraescolar.

## Referencias

- Aberg, M. A. I., Pedersen, N. L., Torén, K., Svartengren, M., Bäckstrand, B., Johnsson, T., ... Kuhn, H. G. (2009). Cardiovascular fitness is associated with cognition in young adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(49), 20906–11. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905307106>
- Ardoy, D. N., Fernández-Rodríguez, J. M., Jiménez-Pavón, D., Castillo, R., Ruiz, J. R., & Ortega, F. B. (2014). A physical education trial improves adolescents' cognitive performance and academic achievement: the EDUFIT study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(1), e52–61. <https://doi.org/10.1111/sms.12093>
- Bass, R. W., Brown, D. D., Laurson, K. R., & Coleman, M. M. (2013). Physical fitness and academic performance in middle school students. *Acta Paediatrica*, 102(8), 832–7. <https://doi.org/10.1111/apa.12278>

- Bezold, C. P., Konty, K. J., Day, S. E., Berger, M., Harr, L., Larkin, M., ... Stark, J. H. (2014). The effects of changes in physical fitness on academic performance among New York City youth. *The Journal of Adolescent Health: Official Publication of the Society for Adolescent Medicine*, 55(6), 774–81. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2014.06.006>
- Budde, H., Voelcker-Rehage, C., Pietrażyk-Kendziorra, S., Ribeiro, P., & Tidow, G. (2008). Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neuroscience Letters*, 441(2), 219–223. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.06.024>
- Castro-Piñero, J., Artero, E. G., España-Romero, V., Ortega, F. B., Sjöström, M., Suni, J., ... Ruiz, J. R. (2010). Criterion-related validity of field-based fitness tests in youth: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 44(13), 934–43. <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.2009.058321>
- Castro-Piñero, J., Chillón, P., Ortega, F. B., Montesinos, J. L., Sjöström, M., & Ruiz, J. R. (2009). Criterion-Related Validity of Sit-and-Reach and Modified Sit-and-Reach Test for Estimating Hamstring Flexibility in Children and Adolescents Aged 6–17 Years. *International Journal of Sports Medicine*, 30(09), 658–662. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1224175>
- Chaddock-Heyman, L., Erickson, K. I., Holtrop, J. L., Voss, M. W., Pontifex, M. B., Raine, L. B., ... Kramer, A. F. (2014). Aerobic fitness is associated with greater white matter integrity in children. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 584. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00584>
- Chen, L. J., Fox, K. R., Ku, P. W., & Taun, C. Y. (2013). Fitness change and subsequent academic performance in adolescents. *The Journal of School Health*, 83(9), 631–8. <https://doi.org/10.1111/josh.12075>
- Corbalán-Berná, J., & Limiñana-Gras, R. M. (2010). El genio en una botella. El test CREA, las preguntas y la creatividad. Introducción al monográfico «El test CREA, inteligencia creativa. *Anales de psicología*, 26(2), 197–205. <https://revistas.um.es/analesps/article/view/108981>
- Duran, C., & Costes, A. (2018). Efecto de los juegos motores sobre la toma de conciencia emocional. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 18(70), 227–245.
- Esteban-Cornejo, I., Tejero-González, C. M., Martínez-Gomez, D., Del-Campo, J., González-Galo, A., Padilla-Moledo, C., ... Veiga, O. L. (2014). Independent and combined influence of the components of physical fitness on academic performance in youth. *The Journal of Pediatrics*, 165(2), 306–312.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2014.04.044>
- Eurofit (1993). Eurofit Tests of Physical Fitness (2<sup>a</sup> ed.). Strasbourg: Committee of Experts on Sports Research.
- Haapala, E. (2013). Cardiorespiratory fitness and motor skills in relation to cognition and academic performance in children - a review. *Journal of Human Kinetics*, 36(3), 55–68. <https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0006>
- Heilman, K. M. (2016) Possible brain mechanisms of creativity. *Archives of Clinical Neuropsychology* 31(4), 285–296. <https://doi.org/10.1093/arclin/acw009>
- Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Castelli, D. M., Hall, E. E., & Kramer, A. F. (2009). The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*, 159(3), 1044–1054. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2009.01.057>
- Hogan, M., Kiefer, M., Kubesch, S., Collins, P., Kilmartin, L., & Brosnan, M. (2013). The interactive effects of physical fitness and acute aerobic exercise on electrophysiological coherence and cognitive performance in adolescents. *Experimental Brain Research*, 229(1), 85–96. <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3595-0>
- Huang, T., Tarp, J., Domazet, S. L., Thorsen, A. K., Froberg, K., Andersen, L. B., & Bugge, A. (2015). Associations of Adiposity and Aerobic Fitness with Executive Function and Math Performance in Danish Adolescents. *The Journal of Pediatrics*, 167(4), 810–815. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2015.07.009>
- Kantamaa, M. T., Stamatakis, E., Kankaanpää, A., Kaakinen, M., Rodriguez, A., Taanila, A., ... Tammelin, T. (2013). Physical activity and obesity mediate the association between childhood motor function and adolescents' academic achievement. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(5), 1917–22. <https://doi.org/10.1073/pnas.1214574110>
- Kujala, U. M. (2018). Is physical activity a cause of longevity? It is not as straightforward as some would believe. A critical analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 52(14), 914–918. <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2017-098639>
- Lervåg, A., & Aukrust, V. G. (2010). Vocabulary knowledge is a critical determinant of the difference in reading comprehension growth between first and second language learners. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 51(5), 612–620. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2009.02185.x>
- Martínez-López, E. J., Moreno-Cerceda, J., Suárez-Manzano, S., & Ruiz-Ariza, A. (2018). Effect of and satisfaction with a program of physical activity controlled through heart rate monitors on body mass index in young students with overweight-obesity. *Retos*, 33, 179–184.
- Martínez-López, E. J., Grao-Cruces, A., De la Torre-Cruz, M. J., & Ruiz-Ariza, A. (2019). Associations of physical fitness with academic performance in teenagers. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 40(1).
- Moore, R. D., Drollette, E. S., Scudder, M. R., Bharij, A., & Hillman, C. H. (2014). The influence of cardiorespiratory fitness on strategic, behavioral, and electrophysiological indices of arithmetic cognition in preadolescent children. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(MAY), 258. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00258>
- Morales, J., González, L. M., Guerra, M., Virgili, C., & Unnithan, V. (2011). Physical activity, perceptual-motor performance, and academic learning in 9-to-16-years-old school children. *International Journal of Sport Psychology*, 42(4), 401–415. <https://www.researchgate.net/publication/272157048>
- Muntaner-Mas, A., Palou, P., Vidal-Conti, J., & Esteban-Cornejo, I. (2018). A Mediation Analysis on the Relationship of Physical Fitness Components, Obesity, and Academic Performance in Children. *The Journal of Pediatrics*, 198,

- 90-97.e4. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2018.02.068>
- Niederer, I., Kriemler, S., Gut, J., Hartmann, T., Schindler, C., Barral, J., & Puder, J. J. (2011). Relationship of aerobic fitness and motor skills with memory and attention in preschoolers (Ballabeina): A cross-sectional and longitudinal study. *BMC Pediatrics*, *11*(1), 34. <https://doi.org/10.1186/1471-2431-11-34>
- Ortega, F. B., Ruiz, J. R., Castillo, M. J., & Sjörström, M. (2008). Physical fitness in childhood and adolescence: a powerful marker of health. *International Journal of Obesity* (2005), *32*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803774>
- Ortega, F. B., Silventoinen, K., Tynelius, P., & Rasmussen, F. (2012). Muscular strength in male adolescents and premature death: cohort study of one million participants. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, *345*, e7279. <https://doi.org/10.1136/bmj.e7279>
- Planinsec, J., & Pisot, R. (2006). Motor coordination and intelligence level in adolescents. *Adolescence*, *41*(164), 667–76.
- Raine, L. B., Biggan, J. R., Baym, C. L., Saliba, B. J., Cohen, N. J., & Hillman, C. H. (2018). Adolescent changes in aerobic fitness are related to changes in academic achievement. *Pediatric Exercise Science*, *30*(1), 106–114. <https://doi.org/10.1123/pes.2015-0225>
- Ruiz, J. R., Castro-Pinero, J., España-Romero, V., Artero, E. G., Ortega, F. B., Cuenca, M. M., ... Castillo, M. J. (2011). Field-based fitness assessment in young people: the ALPHA health-related fitness test battery for children and adolescents. *British Journal of Sports Medicine*, *45*(6), 518–524. <http://dx.doi.org/10.1136/bjbm.2010.075341>
- Ruiz, J. R., Ortega, F. B., Castillo, R., Martín-Matillas, M., Kwak, L., Vicente-Rodríguez, G., ... Moreno, L. A. (2010). Physical activity, fitness, weight status, and cognitive performance in adolescents. *The Journal of Pediatrics*, *157*(6), 917–922.e1–5. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2010.06.026>
- Ruiz-Ariza, A., Casuso, R. A., Suarez-Manzano, S., & Martínez-López, E. J. (2018). Effect of augmented reality game Pokémon GO on cognitive performance and emotional intelligence in adolescent young. *Computers and Education*, *116*, 49–63. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.09.002>
- Ruiz-Ariza, A., de la Torre-Cruz, M. J., Suárez-Manzano, S., & Martínez-López, E. J. (2017a). Active commuting to school influences on academic performance of Spanish adolescent girls. *Retos*, *32*, 39–43.
- Ruiz-Ariza, A., Grao-Cruces, A., Marques De Loureiro, N. E., & Martínez-López, E. J. (2017b). Influence of physical fitness on cognitive and academic performance in adolescents: A systematic review from 2005–2015. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, *10*(1). <http://doi.org/10.1080/1750984X.2016.1184699>
- Ruiz-Ariza, A., Suárez-Manzano, S., López-Serrano, S., & Martínez-López, E. J. (2019). The effect of cooperative high-intensity interval training on creativity and emotional intelligence in secondary school. *European Physical Education Review*, *25*(2), 355–373. <https://doi.org/10.1177/1356336X17739271>
- Santamaría-Fernández, P., & Fernández-Pinto, I. (2013). *Adaptación española de RIAS. Reynolds Intellectual Assessment Scales*. Madrid: TEA Ediciones.
- Santana, C. C. A., Azevedo, L. B., Cattuzzo, M. T., Hill, J. O., Andrade, L. P., & Prado, W. L. (2017). Physical fitness and academic performance in youth: A systematic review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *27*(6), 579–603. <https://doi.org/10.1111/sms.12773>
- Santos, S. D. L., Memmert, D., Sampaio, J., & Leite, N. (2016). The spawns of creative behavior in team sports: A creativity developmental framework. *Frontiers in Psychology*, *7*, 1282. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01282>
- Scudder, M. R., Federmeier, K. D., Raine, L. B., Direito, A., Boyd, J. K., & Hillman, C. H. (2014). The association between aerobic fitness and language processing in children: implications for academic achievement. *Brain and Cognition*, *87*, 140–52. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2014.03.016>
- Sleiman, S. F., Henry, J., Al-Haddad, R., El Hayek, L., AbouHaidar, E., Stringer, T., ... Chao, M. V. (2016). Exercise promotes the expression of brain derived neurotrophic factor (BDNF) through the action of the ketone body  $\beta$ -hydroxybutyrate. *ELife*, *5*, e15092. <http://doi.org/10.7554/eLife.15092>
- Tomporowski, P. D., McCullick, B., Pendleton, D. M., & Pesce, C. (2015). Exercise and children's cognition: The role of exercise characteristics and a place for metacognition. *Journal of Sport and Health Science*, *4*(1), 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.09.003>
- Torrance, P. E. (1966). *Torrance tests of creative thinking*. New Jersey: Personnel Press.
- Torrijos-Niño, C., Martínez-Vizcaíno, V., Pardo-Guijarro, M. J., García-Prieto, J. C., Arias-Palencia, N. M., & Sánchez-López, M. (2014). Physical fitness, obesity, and academic achievement in school children. *The Journal of Pediatrics*, *165*(1), 104–9. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2014.02.041>
- Travlos, A. K. (2010). High intensity physical education classes and cognitive performance in eighth grade students: An applied study. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, *8*(3), 302–311. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2010.9671955>
- Van Dusen, D. P., Kelder, S. H., Kohl, H. W., Ranjit, N., & Perry, C. L. (2011). Associations of physical fitness and academic performance among schoolchildren. *Journal of School Health*, *81*(12), 733–740. <https://doi.org/10.1111/j.1746-1561.2011.00652.x>

