

## Efecto de la contaminación particulada en la aptitud física de jóvenes estudiantes según género y edad

### Particulate pollution effect on physical fitness of youth students according to gender and age

\*Francisco Tomás González-Fernández; \*\*Filipe Manuel Clemente, \*Pedro Jesús Ruiz Montero; \*\*\*Georgian Badicu; \*\*\*\*Hadi Nobari & \*\*\*\*\*Luis Manuel Martínez-Aranda

\*Universidad de Granada (España), \*\*Instituto Politécnico de Viana do Castelo (Portugal), \*\*\*Universidad de Transilvania en Brasov (Rumanía), \*\*\*\* Universidad de Extremadura (España), \*\*\*\*\* Universidad Pablo de Olavide (España)

**Resumen.** Una amplia revisión de la literatura que investiga los efectos perjudiciales de la contaminación particulada ha demostrado que afectan directamente sobre la salud y que causa enfermedades crónicas en el sistema cardiorrespiratorio. El objetivo principal del presente estudio fue el analizar el posible efecto de la contaminación particulada sobre la condición cardiorrespiratoria en jóvenes estudiantes, según edad y género. Un total de 293 estudiantes de dos poblaciones cercanas del sureste de España, participaron en el estudio. Fueron divididos en grupo experimental (GE) (185 sujetos) y grupo control (GC) (108 sujetos). Se llevaron a cabo pruebas antropométricas y el test de caminata de 6 minutos para determinar la capacidad cardiorrespiratoria de los jóvenes estudiantes (VO<sub>2</sub>max. estimado), en dos momentos del año (pre: GE con polución particulada, GC en condiciones normales) y (post: GE y GC en condiciones normales). Los resultados muestran que el GE en su conjunto muestra una clara diferencia pre-post con una mejora de un 13.01% entre puntos temporales ( $p < .001$ ), no encontrándose cambios en el GC, el cual cuenta con valores más elevados tanto en el pre como en el post comparado con el GE. El nivel de secundaria mostró porcentajes de diferencia pre-post más elevados comparado con bachillerato en el GE (13.24 vs. 8.00 %Dif,  $p < .001$ , ES= 0,91-1.83 para ambos niveles educativos, respectivamente), contando este último con valores más elevados tanto al inicio como al final. No se observan diferencias significativas entre géneros tanto en el GE, GC, medida pre y post, aunque si se observa tendencia positiva a valores más elevados en chicos. De forma general, nuestros hallazgos podrían ser explicados por los efectos perjudiciales que la contaminación particulada causó en la muestra de estudio. En todo caso, los valores observados son motivo de preocupación para las autoridades pertinentes, sobre todo teniendo en cuenta los antecedentes encontrados en la literatura.

**Palabras clave:** Condición física; Polución; test cardiorrespiratorio; adolescentes; efectos nocivos.

**Abstract.** A wide literature review of studies evaluating the damaging effects of particulate pollution reveals that it directly affects health and specially causes cardiorespiratory chronic diseases. The main purpose of this study was to analyse the possible effect of particle pollution on cardiorespiratory fitness in youth students, according to age and gender. A total of 293 students from two nearby villages in southern Spain participated in the study. They were divided into experimental group (EG) (185 subjects) and control group (CG) (108 subjects). Anthropometric tests and the 6-minute walking test were carried out to determine the cardiorespiratory capacity of the subjects (estimated VO<sub>2</sub> max), at two time points during the year (pre: GE with particulate pollution, GC under normal conditions) and (post: GE and GC under normal conditions). The results showed that the GE as a whole had a clear pre-post difference with an improvement of 13.01% between time points ( $p < .001$ ), with no change found in the GC, which had higher values both pre and post compared to the GE. The secondary school level showed higher pre-post difference percentages compared to upper secondary school in the EG (13.24 vs. 8.00 %Dif,  $p < .001$ , ES= 0.91-1.83 for both educational levels, respectively), with the latter having higher values both at baseline and at endpoint. No significant differences were observed between genders in the GE, GC, pre and post measurements, although a positive tendency towards higher values in boys was observed. The outcomes could be explained by the detrimental effects that air pollution could cause in our study sample. Anyway, the observed values are cause of concern for the pertinent authorities considering the antecedents found in the literature review.

**Keywords:** Physical fitness; Pollution; Cardiorespiratory test; Adolescents; Harmful effects.

---

Fecha recepción: 09-10-22. Fecha de aceptación: 04-02-23

Luis Manuel Martínez Aranda

lmmarara@upo.es

### Introducción

En la actualidad se ha profundizado acerca de los efectos de la contaminación sobre la salud de la población (Lawrence & Raven, 1984), revelando a la contaminación particulada como una de las que más afecta al bienestar general. Como bien es sabido, la procedencia de este tipo de polución tiene un origen de carácter industrial y principalmente está vinculada a la generación de energía, a la combustión del carbón y diferentes combustibles fósiles (Guan et al., 2016). Sin embargo, hasta donde alcanza nuestro conocimiento no existen investigaciones previas que profundicen acerca de los efectos de este tipo de polución sobre jóvenes estudiantes considerando el sexo y la edad como un factor determinante, y que, además, tengan en cuenta el nivel de condición física de la población estu-

diada. Así mismo, los escolares son particularmente vulnerable a la polución (Osborne et al., 2021; Ma et al., 2020) y, por tanto, es necesario reflexionar sobre los efectos perjudiciales en este grupo poblacional. Por todo ello, en el presente manuscrito pretendemos dar una visión global en dos poblaciones estudiadas: una con altos niveles de polución particulada y otra con bajos niveles en dos momentos claves de su entorno agrario.

La contaminación particulada se encuentra en suspensión en el aire, pudiendo inhalarse y depositarse en las vías respiratorias y las superficies alveolares de la población, causando en ellas graves problemas de salud (Xing et al., 2016). En los últimos años se ha intentado dilucidar las asociaciones existentes entre su exposición continuada en el tiempo en zonas afectadas al respecto y la posibilidad de sufrir diferentes enfermedades de carácter respiratorio

(Buka et al., 2006). La literatura reveló que este tipo de contaminación principalmente afecta a la aptitud cardiorespiratoria, que como bien es sabido es una de las características determinantes para valorar el nivel de condición física (Sharman et al., 2004) y que es un factor clave para valorar la salud de la población (Folinsbee, 1993). En definitiva, si se considera la literatura encontrada hasta el momento y valorando que la condición física es determinante para la salud, se podría asociar a esta capacidad con un menor riesgo de enfermedades crónicas y muerte prematura (Brouwer et al., 2010; Cumming et al., 1985; Harari et al., 2015; McClaran et al., 1995; Rezence et al., 2019).

Si profundizamos acerca de lo mencionado anteriormente podríamos asociar el nivel de condición física, reflejado en la actitud cardiorrespiratoria y concretamente en el  $VO_{2max}$  obtenido a partir de diferentes pruebas directas o indirectas, con bajos niveles y afecciones negativas debidas a la exposición de partículas en suspensión  $Pm_{2.5}$  o  $Pm_{10}$  (Pope et al., 2009; Roberts et al., 2014; Wagner & Clark, 2018). Es por ello, que si esa exposición se repite en el tiempo (trabajos en zonas afectadas, vivir en poblaciones con altos niveles o realizar diferentes actividades en momentos con alta proliferación contaminante, entre otros...) podría predisponer a estados de salud adversos relacionados con enfermedades respiratorias [(presión arterial, el infarto de miocardio, accidente cerebrovascular o cáncer, entre otras). Ver Corrêa Neto et al., 2022, Giles et al., 2014 y Gómez-Chávez et al., 2022, para más información]. Conociendo el desenlace final de este tipo de contaminación, es preciso observar a los jóvenes y valorar su estado de condición física general, sobre todo a nivel cardiorrespiratorio (Ruiz et al., 2011). Así, un buen nivel de condición física en jóvenes podría indicar eficiencia de los diferentes sistemas del cuerpo humano y, por ende, ser un marcador de salud en los jóvenes escolares. Por todo ello, el objetivo del presente estudio ha sido evaluar el efecto de la polución particulada sobre la condición física, según el género y la edad (ESO y bachillerato) de jóvenes estudiantes. Concretamente el  $VO_{2max}$  estimado a través de la prueba "6 minutes walking test", herramienta de evaluación simple, de baja tecnología, segura y fácilmente reproducible (Ulrich et al., 2013), algo que permitía evaluar en todos los centros de forma sencilla y eficaz.

## Metodología

### Área estudiada

Respecto del área estudiada (sur de España, Andalucía, provincia de Jaén), se han realizado diferentes estudios que han caracterizado los niveles de contaminación del sureste de Europa (Ministerio para la transición ecológica, 2018), así como las poblaciones andaluzas referentes para este estudio, en este caso pertenecientes a la provincia de Jaén, cuya economía principal es el sector primario y concretamente, la explotación del olivar (Sánchez de la Campa et al., 2018). Además, es preciso mencionar que industrial-

mente destacan las plantas de biomasa (generación de energía a través de la quema de orujillo o restos del olivar) que, sumado a la orografía del terreno, han hecho que esta localidad cuente con unos niveles desorbitados de contaminación por partículas en suspensión ( $\mu gPM_{10}/m^3$ ). En los dos últimos años se alcanzaron promedios diarios de  $PM_{10}$  de  $95 \mu g/m^3$  en periodos puntuales del año, motivo por el cual en abril de 2019 se publica por parte del Gobierno de la Junta de Andalucía la Orden de 30 de abril de 2019, por la que se aprueba el Plan de acción a corto plazo para la mejora de la calidad del aire de la localidad y su entorno. De hecho, a los niveles encontrados se le añade otro gran problema causado por las instalaciones domésticas de calefacción, en las que, la combustión no se desarrolla en condiciones apropiadas o la biomasa empleada como combustible no tiene las características adecuadas. A todo esto, hay que sumarle las emisiones derivadas de la quema al aire libre de restos de poda tanto agrícola como forestal. En este sentido, Bond et al., (2004), señalan a la quema de biomasa como la responsable de la principal fuente de aerosoles carbonos primarios, los cuales suponen el 75% de la materia orgánica de combustión mundial. Esto se debe a que las partículas generadas en la quema de la biomasa se componen en un 80% de compuestos orgánicos y el 20% restante de carbono negro y sales inorgánicas [potasio, sulfato, cloruro y nitrato (Reid et al., 2005)]. Consecuentemente, en el sur de España en general, se ha elevado el número de días en los que se supera el valor límite de  $PM_{10}$  (Ministerio para la transición ecológica, 2018).

De lo expuesto anteriormente, es destacable que la contaminación particulada afecta a la salud humana y de forma destacada al sistema cardiorrespiratorio. Si observamos el Atlas Nacional de Mortalidad en España (ANDEES), se puede apreciar que la localidad donde residen los participantes del grupo experimental que participan en el presente estudio, se encuentra en la tercera posición del ranking nacional con más muertes por enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores, en el puesto 21 para enfermedades del sistema respiratorio y en la posición 370 respecto a muertes causadas por insuficiencias respiratorias. En definitiva, podríamos sugerir que los datos podrían estar vinculados con los altos niveles de  $PM_{10}$  a los que se expone la población, donde en el periodo 2019-2020 se superó hasta en 24 ocasiones el valor límite diario de  $50 \mu g/m^3$ , llegando a alcanzar valores máximos preocupantes ( $55 \mu gPM_{10}/m^3$ ;  $1350 \mu gCO/m^3$ ;  $24 \mu gNO_2/m^3$ ).

### Diseño del estudio y datos

El estudio se llevó a cabo entre los meses de enero-abril de 2021, coincidiendo con los puntos temporales (meses) donde se produce el cambio en la contaminación particulada, concretamente en la población experimental del estudio. Se utilizó un diseño longitudinal paralelo de dos grupos (GE: grupo experimental; GC: grupo control) con pruebas físicas realizadas en dos momentos temporales (pre-post). Los estudiantes fueron asignados por conve-

nencia y dentro de cada grupo en función de la población de residencia, en este caso, el GE: grupo experimental (localidad con contaminación particulada); GC: grupo control (localidad sin contaminación particulada). Para investigar el efecto de la contaminación por partículas en los escolares, se solicitó a los participantes de ambos grupos que mantuvieran sus rutinas habituales, sin tener lugar intervenciones diferenciadas por parte de los investigadores y realizando una medición pre (GE con polución particulada, GC en condiciones normales) y post (GE y GC en condiciones normales). El conjunto de datos relacionados con la contaminación por partículas se recopiló del portal de medio ambiente de la junta de Andalucía:

(<https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/porta1/home>), incluyendo en este los datos relativos a: dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>); Ozono (O<sub>3</sub>); Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>); material particulado de 10 micras (PM<sub>10</sub>); material particulado de 2,5 micras (PM<sub>2.5</sub>), así como los valores globales en términos de contaminación. En este caso, los datos relativos a PM<sub>10</sub> para el grupo experimental, como valor indicativo de la polución particulada, fue catalogado en la escala de calidad del aire como “desfavorable”-“muy desfavorable” (17-21 enero), y “buena”-“razonablemente buena” (4-8 abril), siendo esto último, la valoración generalizada para el grupo control en ambos momentos de medición. (Tabla 1).

Tabla 1.

Línea temporal del estudio

Pretest (17 de enero al 21 de enero)							Posttest (4 de abril al 8 de abril)						
Mes previo a la evaluación. 19 días desfavorables, 5 días regulares, 7 días razonablemente buenos y un día bueno							Mes previo a la evaluación. 26 días buenos, 3 días regulares y 7 días desfavorables						
Calidad del aire durante la evaluación							Calidad del aire durante la evaluación						
	S02	O3	N02	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	GLOBAL		S02	O3	N02	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	GLOBAL
17E	-						4A	-					
18E	-						5A	-					
19E	-						6A	-					
20E	-						7A	-					
21E	-						8A	-					

Nota: E: Enero; A: Abril, S0<sub>2</sub>: Dióxido de sulfuro; O<sub>3</sub>: Ozono; N0<sub>2</sub>: Dióxido de Nitrógeno; PM<sub>10</sub>: Material particulado de 10 micras; PM<sub>2.5</sub>: Material particulado de 2,5 micras. Escala de calidad del aire: Buena, razonablemente buena, regular, desfavorable, muy desfavorable, extremadamente desfavorable. Valores obtenidos de: [https://ws041.juntadeandalucia.es/pentaho/api/repos/%3Apublic%3ACalidad\\_Aire%3ACalidad\\_Aire.wcdf/generatedContent](https://ws041.juntadeandalucia.es/pentaho/api/repos/%3Apublic%3ACalidad_Aire%3ACalidad_Aire.wcdf/generatedContent)

En cuanto al conjunto de datos obtenidos desde los diferentes centros educativos participantes, las variables incluidas en el estudio fueron: años, peso, talla, índice de masa corporal y consumo máximo de oxígeno estimado (V0<sub>2</sub>max).

### Participantes

Un total de 293 estudiantes de educación secundaria y bachillerato (GE= 185; GC= 108 jóvenes) (tabla 2), residentes en dos pueblos muy similares y cercanos de la provincia de Jaén (España), con una población que fluctúa entre 8.000-10.000 habitantes participaron en el estudio. Se consultó de forma previa con los participantes diversos temas de interés para el estudio como: hábitos diarios, posibles problemas físicos concurrentes o tratamientos médicos en activo, con el objetivo de evitar cualquier tipo de problema causado por la actividad física derivada del estudio en sí. No hubo descartes de estudiantes durante el estudio debidos a problemas en el desempeño del test, así como tampoco se detectaron problemas que pudieran afectar de forma directa a los resultados. El estudio fue conducido de acuerdo con los principios éticos de la declaración de Helsinki para investigación humana y fue aprobado por el comité de investigación ética de la universidad Pontificia de Comillas (2021/90).

### Medidas

#### Antropometría

La altura y el peso fueron recogidos en los dos momentos de la evaluación, a la misma hora y el mismo día de la semana. La altura se midió con un estadiómetro (SECA 213, Birmingham, UK) con una precisión de 0.1 cm. En este sentido, se solicitó a los estudiantes que se quitaran los zapatos y otros accesorios que pidieran influir en la evaluación. Los estudiantes permanecieron en una posición

vertical e inmóvil, con los brazos extendidos a lo largo del cuerpo y mirar al frente en posición erguida.

Tabla 2.

Datos descriptivos de la muestra de estudio.

	Grupo experimental (n=185)		Grupo control (n=108)	
	Secundaria	Bachillerato	Secundaria	Bachillerato
Edad	13.59 ± 1.09	16.13 ± 0.35	13.75 ± 1.52	16.13 ± 0.34
Peso	55.69 ± 11.26	62.69 ± 12.83	53.96 ± 11.90	59.75 ± 10.07
Altura	163.00 ± 8.00	170.00 ± 7.00	162.00 ± 10.00	166.00 ± 8.00
IMC	20.92 ± 3.20	21.67 ± 3.24	20.30 ± 2.89	21.55 ± 3.12

Nota: Datos descriptivos presentados como media ± desviación típica.

#### Condición física. Test de caminata de 6 minutos

El test originalmente denominado como *6-minutes walking test*, muy usado en la literatura científica relacionada, se llevó a cabo usando un pasillo uniforme de 30 metros de largo. Las indicaciones para los participantes se basaron en caminar de un lado al otro de los límites marcados por los investigadores, en línea recta y de la manera más rápida posible, durante un total de 6 minutos completos. Se puso especial énfasis en evitar de manera muy estricta el traspasar, aunque fuera de forma no intencionada, el límite entre caminar rápido y el trote, ya que podía suponer una variable contaminante sobre los resultados obtenidos. En el desarrollo del presente test, a los sujetos se les proporcionó un *feedback* verbal concurrente, informando de los tiempos parciales cada minuto de la prueba. Al finalizar la prueba, la distancia recorrida total fue registrada. De cara a confirmar la reproductibilidad del test, la distancia recorrida en el test fue medida en 60 sujetos de forma aleatoria

con un intervalo de una semana entre ambas pruebas. El VO<sub>2</sub>max (mL/min/kg), fue estimado siguiendo las recomendaciones de Jalili et al. (2018), y Ulrich et al. (2013), los cuales ya informaron sobre buenos registros en cuanto a su reproducibilidad.

### Procedimiento

Los datos se obtuvieron de dos centros educativos en cada uno de los dos grupos (GE y GC). El equipo directivo de cada centro fue contactado con anterioridad para confirmar su participación en el estudio. Los padres de los participantes obtuvieron información sobre los objetivos principales de la presente investigación y firmaron los consentimientos informados y la cesión de datos. Igualmente, todos los alumnos fueron informados sobre el objetivo del proyecto y se les pidió su colaboración. Posteriormente, los profesores de Educación Física implicados en el proyecto fueron informados con todas las indicaciones pertinentes para poder desarrollar los protocolos estipulados. Antes del inicio del estudio, el investigador y profesores llevaron a cabo una familiarización respecto a las medidas antropométricas y el test durante 2 sesiones. Los horarios de evaluación se fijaron siempre en horario de mañana (9.00-13.00 h). Se informó a los estudiantes de ir correctamente uniformados, tanto de ropa como de calzado, para realizar las pruebas de evaluación. Las medidas antropométricas se realizaron en el gimnasio de cada centro educativo y el test específico de condición física, en las pistas polideportivas, contando con un acondicionamiento previo para su realización.

### Análisis estadístico

Los datos están presentados en media  $\pm$  desviación típica o porcentajes. En primer lugar, se realizó un análisis exploratorio de los datos, comprobando si se cumplía una distribución normal y homogeneidad de la muestra, realizando para ello el test de Kolmogorov–Smirnov test ( $> 50$  muestras) y el test de Levene, respectivamente. Para determinar las diferencias en los datos dentro del mismo grupo (GE o GC), en este caso, diferencias pre-post para el nivel educativo de secundaria y bachillerato, así como para la muestra completa, se utilizó la *t-student* para muestras relacionadas. Para establecer posibles diferencias entre grupos, se llevó a cabo un análisis mediante test MANOVA, usando los períodos pre y post como variables dependientes, y el grupo (GR y GC), así como el nivel académico y el género, como factores fijos. El nivel de significancia fue establecido al 5% ( $p < 0.05$ ). El tamaño del efecto indicado está calculado en base a la *d* de Cohen para los *t*-test (Cohen, 1988, 1992). La interpretación de la *d* con independencia del signo, es en función de la escala: muy pequeña (0.01), pequeña (0.20), media (0.50), grande (0.80), muy grande (1.20), extrema (2.0), como inicialmente sugería Cohen y posteriormente expandió el estudio de Savilowky et al. (2009). Para el análisis MANOVA, el tamaño del efecto para los estadísticos F se calculó a través de la eta cuadrada parcial ( $\eta^2$ ), con la siguiente

interpretación:  $< 0.019 =$  trivial [T];  $0.020 < \eta^2 < 0.059 =$  pequeño [P],  $0.06 < \eta^2 < 0.139 =$  medio, [M], y  $\eta^2 \geq 0.14 =$  grande [L]. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo usando el software SPSS v.26 (SPSS Inc., Chicago, IL). Para la confección de figuras tipo *violin plots*, se usó el software R con el paquete denominado *ggpubr*. Este tipo de expresión gráfica también muestran la densidad de probabilidad de los datos en diferentes valores, normalmente suavizado por un estimador de densidad de núcleo.

### Resultados

Los valores descriptivos se calcularon para ambos grupos (GE y GC) en función al momento de medición (pre-post) y según nivel académico (secundaria -1º a 4º- y 1º de bachillerato) incluyendo el cálculo para cada grupo poblacional completo de este estudio. Los porcentajes de diferencias entre el pre y post, los valores del *t*-test, el valor *p* de significación, y el tamaño del efecto, para GE y GC se muestran en la Tabla 2, así como en la Figura 1, donde se muestran visualmente las diferencias entre GE-GC en los puntos temporales pre-post [(t)-10.181;  $p < .001$ ; %Dif.: 13.83; ES= 1.02, para comparación GE-GC pre; (t)-3.625;  $p < .001$ ; %Dif.: 2.71; ES= 0.24 para comparación GE-GC post, respectivamente]. Se aprecia como el GE presenta una clara diferencia pre-post con un incremento de un 13.01% [(t)-13.795;  $p < .001$ ; ES= 0.81] (tabla 2, figura 1). Aun así, el GE al completo muestra valores pre y post más bajos que el GC.

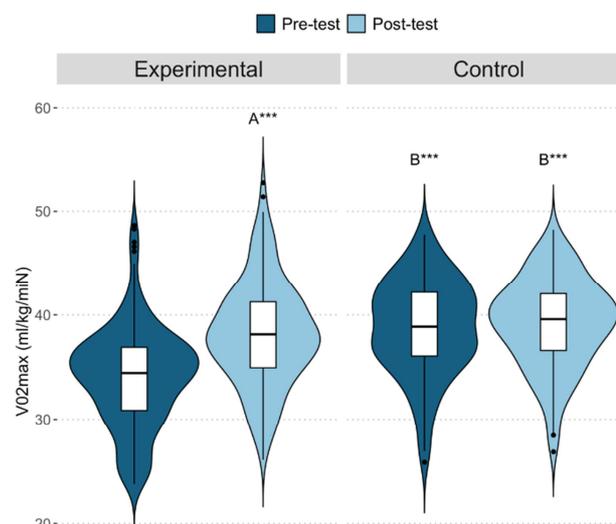


Figura 1. Violin plots del VO<sub>2</sub>max. estimado pre-post test para los grupos experimental y control al completo.

Nota: A= Diferencias significativas  $***p < .001$ , vs. pre; B= Diferencias significativas  $***p < .001$ , para el mismo punto temporal (pre o post) respecto a su homólogo en el grupo experimental. Datos presentados como media  $\pm$  SD.

Según el nivel educativo, la etapa de secundaria comparada con bachillerato, mostró el mayor porcentaje de diferencia entre las mediciones pre y post, específicamente en el GE (13.24 vs. 8.00 %Dif), siendo en cualquier caso significativa en ambos niveles educativos (GE) [(t) <sub>rango= -</sub>

13.125 – (-)10.199;  $p < .001$ ;  $ES = 0,91-1,83$ , para secundaria y bachillerato, respectivamente] (tabla 2, figura 1). Concretamente, los cursos más avanzados en ESO, 3º y 4º son los que muestran valores más elevados de %Dif., así como un mayor ES. En el GC se mostraron porcentajes de diferencia pre-post mucho más bajos por curso comparados con el GE (%Dif.<sub>rango</sub> = 0.48-2.13;  $ES_{\text{rango}} = -0.03-0.16$ ), no encontrando diferencias significativas entre ambos períodos temporales a través de las pruebas *t* (tabla 2).

Igualmente, las diferencias visuales entre los momentos pre y post en los GE y GC, para ambos niveles educativos se muestran en la figura 2 como añadido a lo mostrado anteriormente en la tabla 2. Tal y como indican los valores de las pruebas estadísticas (pruebas *t*), en el GE existen diferencias claramente significativas entre niveles educativos tanto en el pre como en el post, siendo valores mucho más elevados en bachillerato ( $45.82 \pm 2.44$  pre;  $49.44 \pm$

$1.98$  post) comparado con secundaria ( $33.54 \pm 4.18$  pre;  $37.66 \pm 4.53$  post) ( $F=59.687$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2 = 0.173$ ;  $F=54.531$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2 = 0.161$ , para pre y post respectivamente). En este sentido, el GC no presenta diferencias entre sí.

Por otro lado, igualmente hay diferencias significativas en los momentos pre y post, cuando se comparan los GE y GC (tabla 2, figura 2), tanto para secundaria (valores más elevados en el GC, al igual que se observa en la figura 1 de población unificada); [ $F=74.482$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2 = 0.20$ ;  $F=13.318$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2 = 0.045$ , para pre y post respectivamente]; como para bachillerato (valores en este caso más elevados en el GE al analizar la muestra por nivel educativo; [ $F=22.142$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2 = 0.072$ ;  $F=42.307$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2 = 0.129$ , para pre y post respectivamente]) (tabla 3; figura 2).

Tabla 3.

VO2max estimado (ml/kg/min) pre-post tests para los grupos experimental y control según nivel académico.

	Grupo experimental (n=185)					Grupo control (n=108)				
	Pre-test	Post-test	%Dif.	t-test	ES (d)	Pre-test	Post-test	%Dif.	t-test	ES (d)
1º ESO	33.99 ± 4.49	37.54 ± 4.84	11.12	--	0.74	37.27 ± 4.74	38.26 ± 4.51	3.03	--	0.22
2º ESO	32.52 ± 4.40	36.36 ± 4.02	13.20	--	0.96	41.80 ± 3.47	41.22 ± 2.90	-0.91	--	-0.20
3º ESO	33.60 ± 4.24	38.15 ± 4.72	14.78	--	0.96	41.24 ± 3.80	41.97 ± 4.20	2.58	--	0.17
4º ESO	34.53 ± 3.00	39.14 ± 4.25	13.62	--	1.09	38.50 ± 3.88	39.74 ± 4.10	3.46	--	0.30
Total S	33.54 ± 4.18	37.66 ± 4.53	13.24	(t)-13.125; $p < .001$	0.91	39.14 ± 4.38**	39.80 ± 4.08**	2.13	n.s	0.16
1º BAC	45.82 ± 2.44*	49.44 ± 1.98*	8.00	(t)-10.199; $p < .001$	1.83	37.95 ± 5.12**	37.80 ± 4.71**	0.48	n.s	-0.03
Total P	34.07 ± 4.82	38.17 ± 5.06	13.01	(t)-13.795; $p < .001$	0.81	38.79 ± 4.62**	39.21 ± 4.35**	1.64	n.s	0.10

Nota: ESO: Educación secundaria; BAC: Bachillerato; Total S: Total para la muestra de Educación Secundaria; 1º BAC: coincidente con el total para la muestra de Bachillerato al haber solo un curso analizado. Total, P: total para la población de estudio; %Dif.: Porcentaje de diferencia entre pre-post tests; ES: Effect size (tamaño del efecto); d: d de Cohen; n.s: no significativo. Nivel de significatividad al 5% ( $p < .05$ ); \*: Diferencias significativas entre niveles educativos (bachillerato vs. Secundaria); \*\*: Diferencia significativa vs. Grupo Experimental. Datos descriptivos presentados como media ± desviación típica.

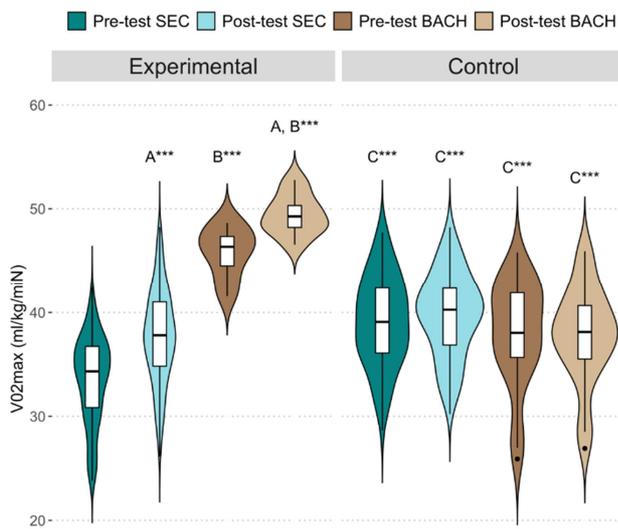


Figura 2. Violin plots del VO2max. estimado pre-post test para los grupos experimental y control en los niveles educativo de secundaria y bachillerato. Nota: A= Diferencias significativas  $***p < .001$ , vs. pre dentro del mismo nivel educativo; B= Diferencias significativas  $***p < .001$ , para el mismo punto temporal (pre o post) entre distintos niveles educativos; C= Diferencias significativas  $***p < .001$ , respecto a su homólogo en el grupo experimental. Datos presentados como media ± SD

Respecto al género, en líneas generales se observan tendencias a mostrar valores más elevados en chicos respecto a las chicas (figura 3), sin embargo, no se llegan a

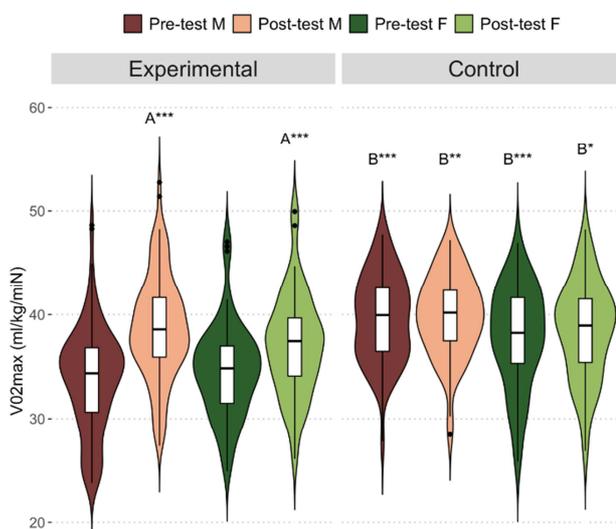


Figura 3. Violin plots del VO2max. estimado pre-post test para los grupos experimental y control según género. Nota: A= Diferencias significativas  $***p < .001$  vs. pre dentro del mismo género; B= Diferencias significativas  $***p < .001$ ,  $**p < .01$  o  $*p < .05$ , respecto a su homólogo en el grupo experimental. Datos presentados como media ± SD

observar diferencias estadísticamente significativas en GE o GC, tanto en pre como en post-test. De forma más específica, sí que en el post-test, y dentro del nivel educativo de

secundaria (sin diferenciar grupo), existen diferencias significativas entre género, donde las chicas muestran significativamente valores más bajos de VO<sub>2</sub>max estimado que los chicos ( $F=6.567$ ;  $p<.05$ ;  $\eta p^2= 0.023$ ).

Por último, dentro de cada sexo, tanto las chicas [(t)-6.609;  $p<.001$ ; %Dif.: 7.36; ES= 0.51], como los chicos del GE [(t)-12.745;  $p<.001$ ; %Dif.: 14.62; ES= 0.98] muestran diferencias significativas pre-post, incrementando considerablemente su VO<sub>2</sub>max estimado. Además, ambos sexos muestran diferencias cuando se comparan los GE y GC, en este caso, observando valores más bajos de VO<sub>2</sub>max estimado en el GE, tanto en pre-test como en post-test (figura 3), como ya se observaba en la muestra unificada de la figura 1.

## Discusión

El objetivo del presente estudio ha sido evaluar el efecto de la polución particulada sobre la condición física, concretamente el VO<sub>2</sub>max estimado a través de la prueba "6 minutes walking test", según el género y la edad (ESO y bachillerato) de jóvenes estudiantes. De forma general, nuestros hallazgos mostraron que las valoraciones observadas en el GE en su conjunto muestran una clara diferencia pre-post con una mejora de un 13.01% entre puntos temporales ( $p<.001$ ), no encontrándose cambios en el GC. Tal y como comentamos previamente los valores observados son más elevados tanto en el pre como en el post comparado con el GE. En cuanto a los porcentajes de diferencia, es destacable la diferencia pre-post más elevada del alumnado de secundaria, si los comparamos con el alumnado de bachillerato en el GE (13.24 vs. 8.00 %Dif,  $p<.001$ , ES= 0.91-1.83 para ambos niveles educativos, respectivamente). En todo caso, no se pudieron observar diferencias significativas entre géneros tanto en el GE, GC, en las medidas pre y post, aunque por lo general, si se observa tendencia positiva a valores más elevados en chicos.

Conviene recordar, que el material particulado representa una mezcla de componentes sólidos y líquidos de diferentes tamaños y composiciones químicas, en los que una exposición continuada a este tipo de partículas se asocia con problemas respiratorios y cardiovasculares (Buka, Korenteng & Osornio-Vargas, 2006; Suwa et al., 2002; Zemp et al., 1999). En el presente estudio, el GE estuvo expuesto a condiciones desfavorables de material particulado, presentando grandes diferencias en comparación con una población similar con buena condición ambiental. Lo cual, coincidiría con los hallazgos de autores como Yu, Wong & Liu (2004), Gao et al. (2013), que en poblaciones sanas expuestas a niveles altos de material particulado, presentaron asociaciones negativas con la aptitud cardiorrespiratoria, reflejada en el VO<sub>2</sub>max y a su vez mostrando valores de rendimiento más bajos en la prueba del 6 minutes walking test (Rundell & Caviton, 2008).

En la literatura científica publicada en la última década,

está muy extendido que el material particulado presente en el aire produce un mayor estrés oxidativo, una mayor capacidad de respuesta bronquial, una mayor resistencia de las vías respiratorias, así como un aumento de las células inflamatorias de las vías respiratorias (Kelly et al., 2003). Por todo ello, esta exposición puede comprometer la función pulmonar de manera puntual y perjudicar la salud general de la población. No obstante, otros estudios versan sobre las poblaciones con mayor cantidad de material particulado, y observaron que el rendimiento durante el ejercicio físico presenta un decremento por la exposición a esta condición (Giles, Carlsten & Koehle, 2012). En general, los presentes hallazgos justifican nuestra hipótesis de partida. Sin embargo, cabe destacar que si profundizamos más en nuestros resultados y observamos la mejora exponencial del GE en el momento post, se refuerza la posibilidad y necesidad de solicitar una actuación inmediata por parte de las autoridades pertinentes, ya que la población estudiada podría estar forzando los mecanismos respiratorios exponencialmente, y con ello, repercutir en su bienestar diario (Gao et al., 2013; Yu, Wong & Liu, 2004,). De hecho, relacionado con lo anterior, estudios previos afirman que en poblaciones expuestas a mala condición ambiental poseen un malestar general y abandonan el ejercicio con más celeridad que en otros lugares sin esta exposición (Giles, Carlsten & Koehle, 2012). Además, reforzando lo anterior las poblaciones con peor forma física, reflejado en la condición aeróbica y en medidas antropométricas adversas, sufren más los efectos promovidos por las malas condiciones del aire, concretamente en la presión arterial (Langrish et al., 2009)

En cuanto a las limitaciones del presente estudio destacamos que no se controló el ejercicio físico realizado entre las valoraciones. Además, otra cuestión interesante hubiera sido controlar a los participantes a partir de las medidas antropométricas (índice de masa corporal, masa grasa, entre otros), lo cual será un aspecto a tener muy en cuenta y controlar en futuras investigaciones. De hecho, será necesario proteger a este tipo de población contra la contaminación particulada proporcionando diferentes actividades de ejercicio físico regular, ya que proporcionan efectos cardioprotectores. Así mismo, en momentos con altos niveles de PM<sub>10</sub>, sería interesante realizar ejercicio en el interior (pabellones, pistas polideportivas interiores o gimnasios) e incluso, si consideramos la exposición del aire durante el ejercicio, usar mascarillas de forma puntual podría proteger contra un aumento significativo de la presión arterial.

## Conclusión

En la actualidad, la contaminación del aire se ha convertido en un gran problema en muchas ciudades de todo el mundo, y la población de estas ciudades se ve obligada a realizar sus tareas cotidianas, e incluso a hacer ejercicio, en un entorno con altos niveles de polución. Nuestro estudio mostró que existen diferencias significativas entre el pre-

post en el GE, no encontrándose cambios en el GC, el cual cuenta con valores más elevados de entrada tanto en el pre como en el post comparado con el GE. El nivel educativo de secundaria presenta claras diferencias entre los puntos temporales pre-post comparado con bachillerato. Si bien es cierto que no se observan diferencias significativas entre géneros tanto en el GE como en el GC, en ambas medidas temporales (pre y post), si que existe una tendencia positiva a presentar valores más elevados en chicos. En resumen, se puede suponer que en los jóvenes del GE pueden verse afectos en el  $V\dot{O}_{2\max}$  por condiciones previas de mala calidad del aire en comparación con otras poblaciones con mejores condiciones de aire en ciertos períodos del año.

### Financiación

Esta investigación fue financiada por el “Instituto Estudios Giennenses en el área de conocimiento Ciencias Naturales y Tecnología” (Diputación provincial de Jáen).

### Referencias

- Bond, T. C., Streets, D. G., Yarber, K. F., Nelson, S. M., Woo, J. H., & Klimont, Z. (2004). A technology-based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109(14), 203.
- Brouwer B. G., Van der Graaf, Y., Soedamah-Muthu, S. S., Wassink, A. M., & Visseren, F. L. (2010). SMART study group. Leisure-time physical activity and risk of type 2 diabetes in patients with established vascular disease or poorly controlled vascular risk factors. *Diabetes Res Clin Pract*, 87(3), 372-378.
- Buka, I., Koranteng, S., & Osornio-Vargas, A. (2006). The effects of air pollution on the health of children. *Paediatr Child Health*, 11(8), 513-516.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed). Lawrence Erlbaum Associates.
- Cohen, J. A. (1992). Power primer. *Psychological Bulletin Journal*, 112, 155-159.
- Corrêa Neto, V. G., Do Rosário, J. A., Bodell, N., Araújo, G. da S., Telles, L. G. da S., de Freitas, J. P., Colonna, M. J. C. M., Triani, F. da S., da Silva, R. S., & Monteiro, E. R. (2022). Comportamiento de la presión arterial, frecuencia cardíaca y doble producto durante el ejercicio aeróbico a intervalos y continuo (Blood pressure, heart rate, and rate pressure product behavior during interval and continuous aerobic exercise). *Retos*, 43, 579-585.
- Cummings, S. R., Kelsey, J. L., Nevitt, M. C., O'Dowd, K. J. (1995). Epidemiology of osteoporosis and osteoporotic fractures. *Epidemiol Rev*, 7,178-208.
- Gao, Y., et al. Adverse Effect of Outdoor Air Pollution on Cardiorespiratory Fitness in Chinese Children (2013). *Atmospheric environment*, 64,10-17.
- Giles, L. V., Koehle, M. S. (2014). The health effects of exercising in air pollution. *Sports Med*, 44(2):223-249.
- Gómez Chávez, L. F. J., Cortés Almanzar, P., Rodríguez Melchor, V. Z. del C., Salazar Pérez, J. I., & Gómez Chávez, M. Y. (2022). Actividad física y cáncer: una revisión bibliométrica 2016-2021 (Physical activity and cancer: a bibliographic review 2016-2021). *Retos*, 45, 622-627.
- Guan Q., An, H., Gao, X., Huang, S., & Li, H. (2016). Estimating potential trade links in the international crude oil trade: A link prediction approach. *Energy* 102, 406-415.
- Harari, G., Green, M. S., & Zelber-Sagi, S. (2015). Combined association of occupational and leisuretime physical activity with all-cause and coronary heart disease mortality among a cohort of men followed-up for 22 years. *Occup Environ*, 72(9), 617-24.
- Jalili, M., Nazem, F., Sazvar, A., & Ranjbar, K. (2018). Prediction of Maximal Oxygen Uptake by Six-Minute Walk Test and Body Mass Index in Healthy Boys. *The Journal of pediatrics*, 200, 155-159.
- Kelly, F. J. (2003). Oxidative stress: its role in air pollution and adverse health effects. *Occup Environ Med*, 60(8), 612-616.
- Langrish, J. P., Mills, N. L., Chan, J. K., et al. (2009). Beneficial cardiovascular effects of reducing exposure to particulate air pollution with a simple facemask. *Part Fibre Toxicol*, 6, 8.
- Ma, X., Longley, I., Gao, J., & Salmond, J. (2020). Assessing schoolchildren's exposure to air pollution during the daily commute - A systematic review. *The Science of the total environment*, 737, 140389.
- McClaran, S. R., Babcock, M. A., Pegelow, D. F., Reddan, W. G., & Dempsey, J. A. (1995). Longitudinal effects of aging on lung function at rest and exercise in healthy active fit elderly adults. *J Appl Physiol*, 78(5),1957-1968.
- Ministerio para la transición Ecológica (2018). Informe de la calidad del aire en España.
- Reid, J. S, Koppmann R., Eck, T. F., & Eleuterio, D. P. (2005). A review of biomass burning emissions part II: intensive physical properties of biomass burning particles. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5, 799-825.
- Sánchez de la Campa, A. M., Salvador, P., Fernández-Camacho, R., Artiñano, B., Coz, E., Márquez, G., et al. (2018). Characterization of biomass burning from olive grove areas: A major source of organic aerosol in PM10 of Southwest Europe. *Atmospheric Research*, 199, 1-13.
- Osborne, S., Uche, O., Mitsakou, C., Exley, K., & Dimitroulopoulou, S. (2021). Air quality around schools: Part I - A comprehensive literature review across high-income countries. *Environmental research*, 196, 110817.
- Sawilowsky, S. (2009). New effect size rules of thumb. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, 8, 467-74.
- Rezende, L. F. M, Lee, D. H., Keum, N., et al. (2019). Physical activity during adolescence and risk of colorectal adenoma later in life: results from the Nurses' Health Study II. *Br J Cancer*, 121(1), 86-94.

- Ruiz, J. R., España-Romero, V., Castro-Piñero, J., Artetero, E., Ortega, F. B., Cuenca-García, M., Jiménez-Pavón, D., Chillón, P., Girela-Rejón, M.J., Mora, J., Gutiérrez, A., Suni, J., Sjöstrom, M., & Castillo, M. (2011). Batería ALPHA-Fitness: test de campo para la evaluación de la condición física relacionada con la salud en niños y adolescentes. *Nutr Hosp*, 26(6), 1210-1214.
- Sharman, J. E., Cockcroft, J. R., & Coombes, J. S. (2004). Cardiovascular implications of exposure to traffic air pollution during exercise. *QJM*, 97(10), 637-643.
- Pope, C. A., Ezzati, M., & Dockery, D. W. (2009). Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States. *N Engl J Med*, 360(4), 376-386.
- Rundell, K. W., & Caviston, R. (2008). Ultrafine and fine particulate matter inhalation decreases exercise performance in healthy subjects. *J Strength Cond Res*, 22(1), 2-5.
- Roberts, J. D., Voss, J. D., & Knight, B. (2014). The Association of Ambient Air Pollution and Physical Inactivity in the United States. *PLoS ONE*, 9(3), e90143.
- Suwa, T., Hogg, J. C., Quinlan, K. B., Ohgami, A., Vincent, R., & Van Eeden, S. F. (2002). Particulate air pollution induces progression of atherosclerosis. *J Am Coll Cardiol*, 39(6), 935-94.
- Ulrich, S., Hildenbrand, F. F., Treder, U., Fischler, M., Keusch, S., Speich, R., & Fasnacht, M. (2013). Reference values for the 6-minute walk test in healthy children and adolescents in Switzerland. *BMC pulmonary medicine*, 13, 49.
- Xing, Y. F., Xu, Y. H., Shi, M. H., & Lian, Y. X. (2016). The impact of PM2.5 on the human respiratory system. *J Thorac Dis*, 8(1), 69-74.
- Wagner, D. R., & Clark, N. W. (2018). Effects of ambient particulate matter on aerobic exercise performance. *J Exerc Sci Fit*, 16(1), 12-15.
- Yu, I. T., Wong, T. W., Liu, H. J. (2004). Impact of air pollution on cardiopulmonary fitness in schoolchildren. *J Occup Environ Med*, 46(9), 946-952.
- Zemp, E., Elsasser, S., Schindler, C., et al. (1999). Long-term ambient air pollution and respiratory symptoms in adults (SAPALDIA study). The SAPALDIA Team. *Am J Respir Crit Care Med*, 159, 1257-1266.