

Artículo Especial

## Cambio climático, contaminación del aire y su impacto en la salud: El rol de la actividad física

David Jiménez-Pavón<sup>a,b,c,\*</sup> 

<sup>a</sup> Grupo de Investigación MOVE-IT, Departamento de Educación Física, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Cádiz, Cádiz, España.

<sup>b</sup> Instituto de Investigación e Innovación Biomédica de Cádiz, Unidad de Investigación del Hospital Universitario de Puerto Real, Universidad de Cádiz, Cádiz, España.

<sup>c</sup> CIBER de Fragilidad y Envejecimiento Saludable, Madrid, España.

### RESUMEN

El cambio climático y la contaminación del aire representan desafíos significativos para la salud pública, con efectos adversos que abarcan enfermedades cardiovasculares, respiratorias y metabólicas. La exposición a partículas finas (PM2.5) se ha vinculado con el aumento de enfermedades crónicas, y su interacción con la actividad física es crucial para maximizar beneficios y minimizar riesgos. Este artículo analiza la relación entre la contaminación del aire y la salud, destacando los mecanismos biológicos del daño, como el estrés oxidativo y la inflamación. Asimismo, se exploran los beneficios de la actividad física en ambientes contaminados y la necesidad de estrategias que promuevan el ejercicio en condiciones seguras. Los resultados subrayan la urgencia de políticas integradas que combinen la reducción de emisiones contaminantes y la promoción de la actividad física para mejorar la salud pública y enfrentar los efectos del cambio climático y la contaminación del aire.

*Palabras clave:* Cambio climático; contaminación del aire; actividad física; salud pública; estrategias de mitigación.

### Climate change, air pollution, and their impact on health: the role of physical activity

#### ABSTRACT

Climate change and air pollution represent significant challenges for public health, with adverse effects spanning cardiovascular, respiratory, and metabolic diseases. Exposure to fine particulate matter (PM2.5) has been linked to the increase in chronic diseases, and its interaction with physical activity is crucial to maximize benefits and minimize risks. This article examines the relationship between air pollution and health, highlighting the biological mechanisms of damage, such as oxidative stress and inflammation. Additionally, the benefits of physical activity in polluted environments and the need for strategies that promote exercise under safe conditions are explored. The findings underscore the urgency of integrated policies that combine emission reduction and the promotion of physical activity to improve public health and address the effects of climate change and air pollution.

*Keywords:* Climate change; air pollution; physical activity; public health; mitigation strategies.

### Mudanças climáticas, poluição do ar e seu impacto na saúde: o papel da atividade física

#### RESUMO

As mudanças climáticas e a poluição do ar representam desafios significativos para a saúde pública, com efeitos adversos que abrangem doenças cardiovasculares, respiratórias e metabólicas. A exposição a partículas finas (PM2.5) tem sido associada ao aumento de doenças crônicas, e sua interação com a atividade física é crucial para maximizar os benefícios e minimizar os riscos. Este artigo analisa a relação entre

\* Autor de Correspondencia: David Jiménez-Pavón, Grupo de Investigación MOVE-IT, Departamento de Educación Física, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Cádiz. Email: [david.jimenez@uca.es](mailto:david.jimenez@uca.es) (David Jiménez-Pavón)

<https://doi.org/10.33155/ramd.v17i1-2.1173>

ISSN-e: 2172-5063/ © Consejería de Turismo, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

a poluição do ar e a saúde, destacando os mecanismos biológicos do dano, como o estresse oxidativo e a inflamação. Além disso, explora-se os benefícios da atividade física em ambientes poluídos e a necessidade de estratégias que promovam o exercício em condições seguras. Os resultados enfatizam a urgência de políticas integradas que combinem a redução de emissões de poluentes e a promoção da atividade física para melhorar a saúde pública e enfrentar os efeitos das mudanças climáticas e da poluição do ar.

*Palavras-chave:* Mudanças climáticas; poluição do ar; atividade física; saúde pública; estratégias de mitigação.

## Introducción

El cambio climático y la contaminación del aire son dos de los desafíos globales que afectan profundamente la salud humana. La exposición a contaminantes del aire, como la materia particulada pequeña (PM2.5), se asocia con una serie de problemas de salud, incluidas enfermedades cardiovasculares, respiratorias y metabólicas<sup>1-3</sup>. Al mismo tiempo, la actividad física es reconocida por sus múltiples beneficios para la salud, contribuyendo a la prevención y tratamiento de diversas enfermedades crónicas<sup>4</sup>. Sin embargo, la interacción entre la actividad física, ejercicio físico y la contaminación del aire requiere una atención especial para maximizar los beneficios y minimizar los riesgos. Este artículo explora las implicaciones de la contaminación del aire y el cambio climático en la salud, así como el papel crucial de la actividad física en la mitigación de estos efectos adversos (Figura 1).



**Figura 1.** Papel de la actividad física en la mitigación de los efectos adversos de la contaminación del aire y el cambio climático en la salud.

## Contaminación del aire y salud

La exposición crónica a partículas PM2.5 se ha vinculado con el desarrollo de enfermedades cardiometabólicas, incluida la diabetes tipo 2. Un estudio del Global Burden of Disease estimó que el 20% de los casos de diabetes tipo 2 a nivel mundial están relacionados con la exposición crónica a PM2.5<sup>1</sup>. La contaminación del aire puede inducir resistencia a la insulina y disfunción endotelial a través de varios mecanismos, incluyendo el estrés oxidativo y la inflamación sistémica<sup>2</sup>.

En concreto, la inhalación de PM2.5 puede desencadenar una cascada de respuestas inflamatorias que afectan a múltiples sistemas como puede ser el cardiovascular. La exposición prolongada a PM2.5 está asociada con la aterosclerosis, lo que incrementa el riesgo de enfermedades cardíacas y accidentes cerebrovasculares. Además, el estudio de Rajagopalan et al. (2024)<sup>1</sup>, encontró una fuerte asociación entre la exposición crónica a PM2.5 y el riesgo de desarrollar diabetes tipo 2, resaltando la importancia de la calidad del aire para la salud metabólica. Del mismo modo, en el trabajo de Krittanawong et al. (2023)<sup>2</sup> también encontraron que la exposición a PM2.5 estaba asociada con un mayor riesgo de eventos cardiovasculares, subrayando la necesidad de reducir la exposición a contaminantes del aire para prevenir enfermedades cardíacas.

Por otro lado, la contaminación del aire también puede afectar otros sistemas del cuerpo, exacerbando condiciones preexistentes y aumentando la susceptibilidad a nuevas enfermedades. Recientes estudios epidemiológicos han demostrado que la exposición a contaminantes del aire está asociada con un aumento en la mortalidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias<sup>5,6</sup>. En particular, una extensa revisión de estudios epidemiológicos y experimentales, concluye que la contaminación del aire, especialmente las partículas finas (PM2.5) y otros contaminantes como el ozono (O3) y el dióxido de nitrógeno (NO2), están significativamente asociadas con un aumento en la incidencia y mortalidad de diversas enfermedades no transmisibles. Estas incluyen enfermedades cardiovasculares, respiratorias, diabetes, cáncer (no solo de pulmón), y trastornos neurológicos<sup>5</sup>. En este sentido, otro interesante estudio examina dichos efectos adversos para la salud de la exposición a largo plazo a bajos niveles de contaminación del aire indicando que incluso niveles de contaminación considerados seguros por los estándares actuales pueden tener efectos negativos significativos en el aumento de la mortalidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias, y un riesgo elevado de cáncer<sup>7</sup>.

En esta misma línea, una reciente revisión sistemática y meta-análisis investigó el papel de los contaminantes del aire en el riesgo de demencia<sup>8</sup>. Los resultados sugieren que la exposición a partículas finas (PM2.5) está asociada con un mayor riesgo de demencia, incluso con niveles de exposición por debajo de los estándares actuales de la EPA. También se encontró una asociación con NO2 y óxidos de nitrógeno (NOx), aunque con datos más limitados. El estudio destaca la importancia de reducir la exposición a estos contaminantes para disminuir la carga de la demencia en la población<sup>8</sup>. De igual forma, el cambio climático y la contaminación del aire también ha mostrado tener un impacto significativo sobre otros elementos de la salud mental, en particular se ha asociado con un aumento en los trastornos del estado de ánimo, incluida la depresión y la ansiedad<sup>9</sup>. Así pues, el estudio de Yang et al. (2023) examinó la asociación entre la exposición a largo plazo a múltiples contaminantes del aire y la incidencia de depresión y ansiedad. Para ello, utilizando datos del UK Biobank, que incluyeron 389,185 participantes seguidos durante una mediana de 10.9 años, los resultados mostraron que la exposición prolongada a niveles bajos de varios contaminantes del aire (PM2.5, PM10, NO2 y NO) se asoció con un aumento en el riesgo de desarrollar depresión y ansiedad<sup>9</sup>. Las curvas de exposición-respuesta fueron no lineales, indicando mayores riesgos a concentraciones más bajas y tendencias de meseta a exposiciones más altas. Los hallazgos sugieren la necesidad de políticas más estrictas de control de la contaminación del aire para reducir la carga de estas enfermedades mentales<sup>9</sup>. Estos resultados ponen de manifiesto la posible falta de concienciación del efecto que los contaminantes atmosféricos tienen en bajas concentraciones y los problemas de salud atribuibles.

Tal es la relevancia del problema del cambio climático y la contaminación, que un estudio proyecta el impacto futuro de la contaminación del aire en la prevalencia de enfermedades no transmisibles en el contexto del cambio climático. Para ello, utilizan modelos epidemiológicos y datos de emisiones proyectadas, y anticipan un aumento significativo en la carga de enfermedades

cardiovasculares, respiratorias, diabetes y cáncer debido a la contaminación del aire exacerbada por el cambio climático<sup>10</sup>.

#### *Posibles mecanismos de daño sobre la salud*

La contaminación del aire puede causar daño a la salud a través de varios mecanismos biológicos. La inhalación de partículas finas puede inducir estrés oxidativo e inflamación en el sistema respiratorio, lo que puede propagarse a otros sistemas del cuerpo. Este proceso inflamatorio puede dañar las células endoteliales, que son cruciales para la función vascular, y contribuir al desarrollo de aterosclerosis<sup>3</sup>. Además, la exposición a contaminantes del aire puede alterar el metabolismo de la glucosa y los lípidos, lo que puede llevar a la resistencia a la insulina y aumentar el riesgo de diabetes tipo 2. En un reciente estudio<sup>3</sup>, se destacó cómo el cambio climático y la contaminación del aire afectan la epidemiología de las enfermedades infecciosas, modificando las condiciones ambientales que facilitan la proliferación de vectores de enfermedades. El aumento de las temperaturas globales, los cambios en los patrones de precipitación y la mayor frecuencia de eventos climáticos extremos están modificando la distribución geográfica, la estacionalidad y la frecuencia de transmisión de las enfermedades infecciosas. Además, el cambio climático está afectando la dinámica poblacional y el comportamiento de los hospedadores animales, lo que incrementa la incidencia de enfermedades zoonóticas.

Por otro lado, un estudio<sup>11</sup> analizó cómo la contaminación del aire se ha convertido en un factor de riesgo ambiental creciente para la cognición, la neuroinflamación y la neurodegeneración. Dicha investigación destaca que la exposición a largo plazo a contaminantes del aire, como las partículas finas (PM<sub>2.5</sub>), puede inducir estrés oxidativo e inflamación en el cerebro, lo que contribuye al desarrollo de enfermedades neurodegenerativas, incluyendo el Alzheimer. Los hallazgos subrayan la necesidad urgente de políticas públicas para reducir la exposición a la contaminación del aire y proteger la salud cerebral, especialmente en poblaciones vulnerables como los niños o personas mayores<sup>11</sup>.

#### *Actividad física, ejercicio y exposición a la contaminación*

La actividad física regular ofrece numerosos beneficios para la salud cardiovascular y metabólica. Sin embargo, realizar ejercicio en ambientes con alta contaminación del aire puede mitigar estos beneficios y, en algunos casos, exacerbar los efectos negativos de la contaminación<sup>12</sup>. Por ello resulta crucial encontrar un equilibrio, realizando ejercicio en ambientes menos contaminados o en interiores cuando los niveles de contaminación son altos.

En un estudio de Giles y Koehle (2014), se analizó el impacto del ejercicio en ambientes contaminados, destacando tanto los beneficios del ejercicio como los riesgos de la contaminación del aire<sup>12</sup>. Este estudio revisó los efectos de la contaminación del aire en la salud durante la práctica de ejercicio desatacando que practicando de forma regular mejora varios mecanismos fisiológicos y resultados de salud que la exposición a la contaminación del aire puede exacerbar. Sin embargo, también presenta el desafío de equilibrar los efectos beneficiosos del ejercicio con los efectos perjudiciales de la contaminación del aire. El citado trabajo realiza una buena síntesis de los efectos pulmonares, cardiovasculares, cognitivos y sistémicos de la exposición a partículas, O<sub>3</sub> y CO durante el ejercicio. Además, discuten cómo la exposición a la contaminación del aire afecta el consumo máximo de oxígeno y el rendimiento del ejercicio y enfatizan la importancia de la planificación del uso del suelo para seleccionar lugares adecuados para el ejercicio, con el objetivo de mitigar los efectos adversos de la contaminación del aire.

En particular, el estudio se centra en la interacción entre el ejercicio físico y la contaminación del aire, explorando cómo

la exposición a contaminantes durante el ejercicio puede afectar la salud. Los principales contaminantes examinados incluyen PM, O<sub>3</sub> y CO. Las partículas finas y ultrafinas (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>0.1</sub>) son particularmente preocupantes debido a su capacidad para penetrar profundamente en los pulmones y el sistema cardiovascular. Los hallazgos incluyen:

#### Efectos Pulmonares:

- La exposición a PM y ozono durante el ejercicio puede alterar los patrones respiratorios, aumentar la frecuencia respiratoria y disminuir el volumen tidal.
- La exposición aguda y crónica a PM puede resultar en estrés oxidativo, aumento de la reactividad bronquial y resistencia de las vías respiratorias, así como inflamación de las vías aéreas, lo que afecta la función pulmonar.

#### Efectos Cardiovasculares:

- La exposición a PM está asociada con condiciones cardiovasculares como infarto de miocardio, accidente cerebrovascular y aterosclerosis.
- Tres vías propuestas incluyen estrés oxidativo e inflamación pulmonar, perturbación del sistema nervioso autónomo y translocación de PM o sus componentes en la circulación.

#### Efectos Cognitivos y Sistémicos:

La exposición a contaminantes como el O<sub>3</sub> puede afectar el rendimiento cognitivo y la variabilidad de la frecuencia cardíaca.

#### Mitigación de Efectos Adversos:

Los autores sugieren formas en que los individuos pueden mitigar los efectos adversos de la contaminación durante el ejercicio, como seleccionar rutas con menor tráfico y evitar áreas de alta contaminación durante actividades físicas intensas.

Por otro lado, el trabajo de Sanchis-Gomar et al. (2022)<sup>13</sup> revisó los efectos del ejercicio sobre las enfermedades cardiovasculares, proporcionando evidencia de que la actividad física puede mejorar la salud cardiovascular incluso en condiciones ambientales adversas<sup>13</sup>. Esto sugiere que los beneficios del ejercicio pueden incluso superar los riesgos asociados con la contaminación del aire en algunos contextos. En otro estudio<sup>14</sup> estudiaron los efectos de la actividad física y la contaminación del aire sobre la presión arterial, sugiriendo que los beneficios del ejercicio pueden superar los riesgos asociados con la contaminación en algunos contextos. Sin embargo, Koehle et al. (2024) estudiaron los impactos fisiológicos de la contaminación atmosférica, encontrando que la calidad del aire afecta el rendimiento del ejercicio y la salud cardiovascular<sup>15</sup>.

Del mismo modo, la actividad física ha demostrado ser una intervención efectiva para mejorar la salud mental y reducir los síntomas de depresión y ansiedad, incluso en ambientes con alta contaminación del aire<sup>16</sup>. Un estudio encontró que la actividad física moderada podía atenuar algunos de los efectos negativos de la contaminación del aire en la salud mental, sugiriendo que el ejercicio puede ser una herramienta efectiva para mejorar la salud mental en ambientes contaminados<sup>16</sup>.

Además, es importante considerar las diferencias individuales en la susceptibilidad a los efectos de la contaminación del aire. Algunas personas pueden ser más sensibles a los efectos de la contaminación debido a factores genéticos, condiciones de salud preexistentes o diferencias en el comportamiento de la actividad física<sup>17</sup>.

### Efectos del cambio climático en la actividad física

El cambio climático puede afectar la capacidad de las personas para participar en actividades físicas. Aumento de temperaturas, eventos climáticos extremos y cambios en la calidad del aire pueden limitar las oportunidades para el ejercicio al aire libre. En un estudio de Dadvand et al. (2015), se investigó el impacto de los espacios verdes en el desarrollo cognitivo de los niños en edad escolar, encontrando beneficios significativos para la salud mental y el desarrollo, lo que sugiere que la creación de espacios verdes puede mitigar algunos de los efectos negativos del cambio climático en la actividad física<sup>18</sup>.

No obstante, es vital desarrollar estrategias para fomentar la actividad física a pesar de estos desafíos, como la creación de espacios seguros y la promoción de actividades en interiores. En este sentido, Motairek et al. (2023) evaluaron la carga de enfermedades cardiovasculares atribuibles a la contaminación por partículas en la región del Mediterráneo oriental, subrayando la necesidad de políticas de reducción de emisiones y la promoción de la actividad física en entornos seguros<sup>19</sup>.

Además, el cambio climático puede aumentar la frecuencia y severidad de eventos climáticos extremos, como olas de calor, que pueden hacer que el ejercicio al aire libre sea peligroso. Un estudio de An et al. (2017) realizó una revisión sistemática y un meta-análisis sobre el impacto de la contaminación del aire en la actividad física entre adultos, sugiriendo que la contaminación reduce la probabilidad de participación en actividades físicas<sup>20</sup>.

### Estrategias de mitigación

Para abordar los impactos del cambio climático y la contaminación del aire en la salud, es necesario implementar estrategias coordinadas a nivel local, nacional e internacional. Esto incluye la promoción de políticas ambientales que reduzcan la contaminación del aire y la inversión en infraestructura que facilite la actividad física en ambientes seguros. Además, es fundamental aumentar la concienciación sobre los beneficios de la actividad física y cómo puede ayudar a mitigar algunos de los efectos negativos del cambio climático en la salud.

Las políticas deben centrarse en la reducción de las emisiones de contaminantes del aire, la promoción del uso de transporte activo y la mejora de la infraestructura urbana para facilitar estilos de vida activos y saludables<sup>21</sup>. Además, es crucial fomentar la investigación continua sobre los efectos del ejercicio físico en la mitigación de los impactos del cambio climático y la contaminación del aire, y cómo estas intervenciones pueden ser integradas efectivamente en políticas de salud pública. Así pues, se ha destacado la importancia de las estrategias de transporte urbano sostenible para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la salud pública mediante la actividad física<sup>22</sup>.

### Conclusión

El cambio climático y la contaminación del aire son desafíos globales que requieren una acción concertada para proteger la salud pública. La actividad física desempeña un papel crucial en la promoción de la salud y la mitigación de los efectos negativos de estos factores ambientales. Aunque la evidencia no es lo suficientemente extensa, el ejercicio ha demostrado la capacidad de mantener sus beneficios sobre diversas patologías y la salud en general incluso siendo practicado en ambientes contaminados, así como el efecto mitigador parte de los efectos negativos de la inhalación de sustancias tóxicas. Sin embargo, existen aún mucha incógnitas.

Es esencial desarrollar políticas y estrategias que fomenten la actividad física en entornos seguros y limpios, y que aborden simultáneamente la reducción de la contaminación del aire y los impactos del cambio climático. Con un enfoque coordinado, es

posible mejorar la salud pública y reducir la carga de enfermedades relacionadas con el medio ambiente.

## Referencias

- 1- Garcia L, Pearce M, Abbas A, Mok A, Strain T, Ali S, et al. Non-occupational physical activity and risk of cardiovascular disease, cancer and mortality outcomes: a dose-response meta-analysis of large prospective studies. *Br J Sports Med.* 2023;57(15):979-989. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-105669>.
- 2.- Rajagopalan S, Brook RD, Salerno PRVO, Bourges-Sevenier B, Landrigan P, Nieuwenhuijsen MJ, et al. Air pollution exposure and cardiometabolic risk. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2024 Mar;12(3):196-208. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(23\)00361-3](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(23)00361-3).
- 3.- Krittanawong C, Qadeer YK, Hayes RB, Wang Z, Virani S, Thurston GD, et al. PM2.5 and Cardiovascular Health Risks. *Curr Probl Cardiol.* 2023;48(6):101670. <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2023.101670>
- 4.- Phillips MC, LaRocque RC, Thompson GR 3rd. Infectious Diseases in a Changing Climate. *JAMA.* 2024 Apr 16;331(15):1318-1319. <https://doi.org/10.1001/jama.2023.27724>
- 5.- Schraufnagel DE, Balmes JR, Cowl CT, De Matteis S, Jung SH, Mortimer K, et al. Air Pollution and Noncommunicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 2: Air Pollution and Organ Systems. *Chest.* 2019;155(2):417-426. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2018.10.041>
- 6.- Liu C, Chen R, Sera F, Vicedo-Cabrera AM, Guo Y, Tong S, et al. Ambient Particulate Air Pollution and Daily Mortality in 652 Cities. *N Engl J Med.* 2019;381(8):705-715. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1817364>
- 7.- Boogaard H, Crouse DL, Tanner E, Mantus E, van Erp AM, Vedal S, et al. Assessing Adverse Health Effects of Long-Term Exposure to Low Levels of Ambient Air Pollution: The HEI Experience and What's Next? *Environ Sci Technol.* 2024;58(29):12767-12783. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c09745>
- 8.- Wilker EH, Osman M, Weisskopf MG. Ambient air pollution and clinical dementia: systematic review and meta-analysis. *BMJ.* 2023;381:e071620. <https://doi.org/10.1136/bmj-2022-071620>
- 9.- Yang T, Wang J, Huang J, Kelly FJ, Li G. Long-term Exposure to Multiple Ambient Air Pollutants and Association With Incident Depression and Anxiety. *JAMA Psychiatry.* 2023;80(4):305-313. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2022.4812>
- 10.- Karim N, Hod R, Wahab MIA, Ahmad N. Projecting non-communicable diseases attributable to air pollution in the climate change era: a systematic review. *BMJ Open.* 2024;14(5):e079826. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-079826>
- 11.- Calderón-Garcidueñas L, Leray E, Heydarpour P, Torres-Jardón R, Reis J. Air pollution, a rising environmental risk factor for cognition, neuroinflammation and neurodegeneration: The clinical impact on children and beyond. *Rev Neurol (Paris).* 2016;172(1):69-80. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2015.10.008.21>
- 12.- Giles LV, Koehle MS. The health effects of exercising in air pollution. *Sports Med.* 2014;44(2):223-49. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0108-z>
- 13.- Sanchis-Gomar F, Lavie CJ, Marín J, Perez-Quilis C, Eijsvogels TMH, O'Keefe JH, Perez MV, Blair SN. Exercise effects on cardiovascular disease: from basic aspects to

- clinical evidence. *Cardiovasc Res.* 2022;118(10):2253-2266. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvab272>
- 14.- Avila-Palencia I, Laeremans M, Hoffmann B, Anaya-Boig E, Carrasco-Turigas G, Cole-Hunter T, et al. Effects of physical activity and air pollution on blood pressure. *Environ Res.* 2019;173:387-396. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.03.032>
- 15.- Koehle MS. Physiological impacts of atmospheric pollution: Effects of environmental air pollution on exercise. *Physiol Rep.* 2024 Apr;12(7):e16005. <https://doi.org/10.14814/phy2.16005>
- 16.- Park H, Yang PS, Sung JH, Jin MN, Jang E, Yu HT, et al. Association Between the Combined Effects of Physical Activity Intensity and Particulate Matter and All-Cause Mortality in Older Adults. *Mayo Clin Proc.* 2023;98(8):1153-1163. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2023.04.017>
- 17.- Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation.* 2010;121(21):2331-78. <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181d8bec1>
- 18.- Dadvand P, Nieuwenhuijsen MJ, Esnaola M, Fornis J, Basagaña X, Alvarez-Pedrerol M, et al. Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2015 Jun 30;112(26):7937-42. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503402112>
- 19.- Motairek I, Ajluni S, Khraishah H, AlAhmad B, Al-Dulaimi S, Abi Khalil C, et al. Burden of cardiovascular disease attributable to particulate matter pollution in the Eastern Mediterranean region: analysis of the 1990-2019 global burden of disease. *Eur J Prev Cardiol.* 2023;30(3):256-263. <https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwac256>
- 20.- An R, Zhang S, Ji M, Guan C. Impact of ambient air pollution on physical activity among adults: a systematic review and meta-analysis. *Perspect Public Health.* 2018;138(2):111-121. <https://doi.org/10.1177/1757913917726567>
- 21.- Brugge D, Durant JL, Rioux C. Near-highway pollutants in motor vehicle exhaust: a review of epidemiologic evidence of cardiac and pulmonary health risks. *Environ Health.* 2007;6:23. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-6-23>
- 22.- Woodcock J, Edwards P, Tonne C, Armstrong BG, Ashiru O, Banister D, et al. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. *Lancet.* 2009;374(9705):1930-43. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61714-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61714-1)