

UMBRALES DEL BENEFICIO A LA SALUD - ACTIVIDAD FÍSICA Y CONTAMINACIÓN DEL AIRE: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA.

Health Benefit Thresholds – Physical Activity and Air Pollution: A Systematic Review.

Romero-Padrón Manuel Ángel¹, Hernández-García Yarinka Verushka ², González-Amarante Pilar¹.

1 Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey. 2 Tecnológico de Monterrey, Campus Guadalajara. México.

RESUMEN

Introducción: La contaminación aérea es un problema global que afecta la salud de millones de personas. Por otro lado, la actividad física se presenta como un factor protector para la misma, pero surge la incógnita sobre su eficacia en entornos con alta contaminación aérea. **Objetivo:** Explorar el umbral en el que la actividad física al aire libre pasa a ser detrimental. **Material y Método:** Se realizó una revisión sistemática basada en los lineamientos PRISMA, donde se revisó la relación entre la actividad física y la contaminación aérea en países en desarrollo. **Resultados:** Se identificaron 11 estudios, principalmente en China, que analizaban esta relación. Cinco estudios encontraron que la actividad física era beneficiosa para la salud, mientras que otros cinco establecieron niveles de contaminación a partir de los cuales la actividad física al aire libre se volvía perjudicial. **Conclusión:** Los resultados sugieren que la relación entre actividad física y contaminación aérea depende de los niveles específicos de contaminantes. Integrar estos resultados para hacer recomendaciones amplias es complejo debido a la diversidad de contaminantes y sus efectos en la salud, así como la imposibilidad de calcular la exposición personalizada. Se enfatiza la necesidad de intervenciones de política pública para reducir la contaminación aérea y proteger la salud de la población.

Palabras clave: Contaminación del aire, actividad física, salud pública.

ABSTRACT

Introduction: Air pollution is a global issue affecting the health of millions of people. On the other hand, physical activity is presented as a protective factor, but there is uncertainty about its effectiveness in environments with high air pollution. **Objective:** Explore the threshold at which outdoor physical activity becomes detrimental. **Material and method:** A systematic review based on PRISMA guidelines was conducted, examining the relationship between physical activity and air pollution in developing countries. **Results:** Eleven studies, mainly in China, analyzing this relationship were identified. Five studies found that physical activity was beneficial for health, while another five established pollution levels beyond which outdoor physical activity became harmful. The effects varied depending on the type of disease or symptom studied. **Conclusion:** The results suggest that the relationship between physical activity and air pollution depends on specific pollutant levels. Integrating these results to make broad recommendations is complex due to the diversity of pollutants and their health effects, as well as the inability to calculate personalized exposure. The need for public policy interventions to reduce air pollution and protect population health is emphasized.

Key words: Air pollution, physical activity, public health.

Correspondencia: Manuel Ángel Romero Padrón manuelromeropadron@gmail.com

Recibido: 10 de mayo 2024, aceptado: 24 de septiembre 2024

©Autor2024



Citation: Romero-Padrón M.A., Hernández-García Y.V., González-Amarante P. (2024) Umbrales del beneficio a la salud - actividad física y contaminación del aire: Una revisión sistemática. *Revista Salud Pública y Nutrición*, 23 (3), 30-38. <https://doi.org/10.29105/respyn23.3-797>

Significancia

Es de suma importancia sopesar el beneficio que puede tener la actividad física al aire libre frente a los efectos nocivos del respirar un aire con altos niveles de diversos contaminantes. La recopilación de artículos e información contenidos en este artículo, busca impactar en las consideraciones en materia de salud pública respecto a la contaminación del aire en países en vías de desarrollo. De igual manera, con este conocimiento, se puede crear consciencia respecto a futuras tomas de decisiones en beneficio de los habitantes de dichos países.

Introducción

La contaminación del aire se produce cuando las características naturales de la atmósfera se ven alteradas por agentes físicos, químicos o biológicos. Entre los contaminantes más preocupantes se incluyen partículas en suspensión, monóxido de carbono, ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre (World Health Organization: WHO, 2019).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que aproximadamente el 99% de las personas de todo el mundo respiran un aire contaminado, afectando más a países de bajos y medianos ingresos (World Health Organization: WHO, 2018). De igual manera, el Instituto de Métricas en Salud y Evaluación (IHME, por sus siglas en inglés), indicó que dicho tipo de contaminación contribuyó en el 2019 a que se perdieran 213.3 millones de años de vida saludables. Lo anterior representa un 17.5% a la carga mundial de morbilidad de todos los factores de riesgo combinados (GBD Results, 2019).

Existe evidencia contundente e inexorable sobre los efectos adversos que causa la contaminación aérea en la salud de los seres humanos (Jing et al., 2023; Li et al., 2023; Lu et al., 2023; Manisalidis et al., 2020; Peterson et al., 2022; Rajagopalan et al., 2018; Romero-Calderón et al., 2017; World Health Organization: WHO, 2022; Zammit et al., 2020; Zhou et al., 2023). En primera instancia, afecta de manera directa a los sistemas cardiovascular y pulmonar, resultando en un detrimento en la capacidad pulmonar total y posible agravamiento de enfermedades preexistentes (Cutrufello et al., 2011; Franchini & Mannucci, 2012; Jayadipraja et al., 2016; Marr & Ely, 2010; Rundell & Caviston, 2008). Lo antes dicho incluye el desarrollo de asma y bronquitis crónica, así como la progresión de la

aterosclerosis y eventos cardiovasculares (Cutrufello et al., 2011; Franchini & Mannucci, 2012; Marr & Ely, 2010; Rundell & Caviston, 2008). Además de las condiciones respiratorias que son las más conocidas, la contaminación del aire también contribuye en el desarrollo o agravamiento de otras enfermedades como trastorno del espectro autista, retinopatía, restricción del crecimiento intrauterino (sobre todo del sistema nervioso) y algunas enfermedades neurodegenerativas como Alzheimer y Parkinson (Jing et al., 2023; Li et al., 2023; Manisalidis et al., 2020; Peterson et al., 2022; Zhou et al., 2023). De manera reciente, también se ha encontrado una asociación con enfermedades relacionadas a la salud mental como esquizofrenia, depresión y un mayor riesgo de suicidio en los días con mayor nivel de contaminación aérea (Buoli et al., 2018).

El factor de riesgo que representa la exposición a una mala calidad del aire podría gestionarse desde la salud individual, con la prevención y gestión de hábitos saludables incluyendo la actividad física. En efecto, algunos otros problemas prevalentes en el ámbito de la salud pública incluyen como factor de riesgo el sedentarismo. El principal abordaje de las condiciones metabólicas, de salud cardiovascular y sistémica consiste en la recomendación de intervenciones acerca del estilo de vida entre las que la práctica del ejercicio físico es clave (Rodulfo, 2019; Wang et al., 2021). De acuerdo con la OMS, la gran mayoría de los niños y adultos no alcanzan el nivel de actividad física recomendado por las pautas, que consiste en realizar de 150 a 300 minutos de ejercicio a la semana (World Health Organization, 2024). Lo anterior se traduce en que 1 de cada 3 mujeres y 1 de cada 4 hombres realizan una insuficiente cantidad de actividad física (World Health Organization: WHO, 2022). En el 2019, se contabilizaron 15.7 millones de años de vida ajustados por discapacidad y casi 1 millón de muertes atribuibles a la baja actividad física (Xu et al., 2022). Este factor ha encendido una alarma en las agendas de salud pública.

En la intersección de estos dos asuntos es clave analizar la conveniencia de realizar actividad física al aire libre, que se sabe que, en condiciones ideales, tiene un impacto positivo sobre la salud física y mental, ya que abona a la longevidad, calidad y expectativa de vida (Bendíková, 2014; Farris &

Abrantes, 2020). Sin embargo, dada la contingencia que frecuentemente se vive en las ciudades metropolitanas en términos de la calidad del aire, se investiga sobre el umbral en el que el beneficio que aporta el ejercicio sobre la salud podría neutralizar o contrarrestar a la afectación por respirar aire contaminado. El problema se focaliza en las ciudades pertenecientes a países en vías de desarrollo, es decir, a países con una base industrial menos desarrollada y un índice de desarrollo humano menor a otros países; ya que la contaminación del aire tiene una relación lineal positiva con el nivel/rapidez de la urbanización de un país (Lei et al., 2020; Ponce & Alvarado, 2019; York & Rosa, 2012).

En este acertijo, nos preguntamos: ¿Cuál es el umbral del beneficio de realizar actividad física al aire libre en distintos niveles de contaminación del aire? Los hallazgos en esta revisión pueden ayudar a comprender las implicaciones de cómo se encuentran estos fenómenos embebidos en la salud pública e informar a profesionales de la salud para que puedan mejorar la educación de sus pacientes y la sociedad. A la par, la intención es detonar los análisis pertinentes para tomar decisiones más contundentes en la esfera de la salud y la política pública.

De manera adicional, el propósito de esta revisión sistemática es explorar el umbral o punto de inflexión en el que la actividad física al aire libre pasa de ser beneficiosa para la salud, a ser detrimental. Hasta el momento, la mayoría de los estudios empíricos evalúan impactos en sistemas o enfermedades específicas, y lo hacen en circunstancias particulares de contaminación que hacen difícil abstraer los hallazgos y erigir recomendaciones de forma integrada.

En países en vías de desarrollo, se sabe que los adultos mayores que realizan actividad física muestran una mejor salud, independientemente del nivel de contaminantes del aire; y aquellos con niveles irregulares de actividad física son más vulnerables a los efectos perjudiciales de los contaminantes (D'Oliveira et al., 2023). Sabiendo que el problema es más álgido en los países en vías de desarrollo, este estudio pretende conjuntar la evidencia de estudios empíricos en tal contexto.

Material y Método

Con base en la declaración de Elementos de Informe Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis (PRISMA, por sus siglas en inglés), se llevó a cabo una revisión sistemática del tema.

Se incluyeron artículos académicos que cumplieran todos los siguientes criterios: 1) Diseño de investigación: intervenciones o experimentos, estudios de cohortes retrospectivos o prospectivos, estudios transversales y estudios de casos y controles; 2) Sujetos: adultos/personas mayores de 18 años viviendo en países en vías de desarrollo; 3) Exposición: contaminantes del aire específicos (Materia Particulada de menos de 10mm (PM10), Materia Particulada de menos de 2.5mm (PM2.5), Ozono (O3) y Óxidos de Nitrógeno (Nox)); 4) Resultado: actividad física y sedentarismo y 5) Fecha de Publicación: desde el 01 de enero del 2014 (La fecha fue elegida dada la emisión de la clasificación de países de acuerdo a su nivel de desarrollo); 6) Ventana de búsqueda: hasta el 15 de septiembre del 2023. 7) Idioma: inglés o español.

Se excluyeron los estudios que cumplieran alguno de los siguientes criterios: cartas al editor, editoriales, protocolos de estudio/revisión o artículos de revisión (revisiones sistemáticas y no sistemáticas, y metaanálisis).

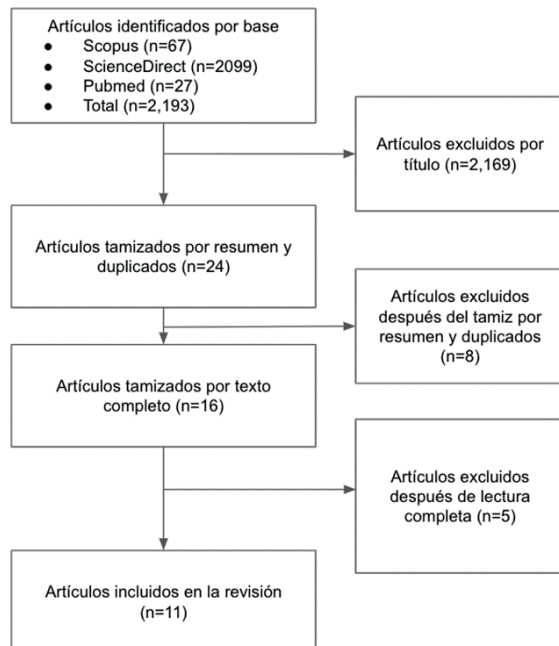
Se realizó una búsqueda bibliográfica en 3 bases de datos: Scopus, PubMed y ScienceDirect. La combinación de palabras de búsqueda fue la siguiente: (“Physical Activity” OR “Exercise”) AND (“Air Pollution” OR “Polluted Air”) AND “Developing Countries”; la cual fue utilizada de la misma manera para todas las bases de datos. Los títulos y resúmenes de los artículos identificados mediante las palabras de búsqueda fueron filtrados de acuerdo a los criterios de inclusión. Los artículos potencialmente relevantes identificados de manera independiente dos investigadores se recuperaron para su evaluación en texto completo.

En esta primera ronda se evaluó la consistencia de la elección entre evaluadores a través de discusión. Posteriormente, dos investigadores realizaron de manera independiente la revisión en texto completo, ratificando el conjunto final de artículos incluidos en la revisión.

Resultados

La figura 1 muestra el diagrama que refleja la selección de los estudios. Se identificaron un total de 2,193 artículos a través de las palabras de búsqueda, incluyendo 67 artículos de Scopus, 27 artículos de PubMed y 2,099 artículos de ScienceDirect. De estos, 2,169 fueron eliminados en la revisión de título y 24 artículos fueron sometidos a revisión de resúmenes y duplicados, resultando en otros 8 artículos excluidos. Los 16 artículos restantes fueron revisados en su totalidad en función de los criterios de selección del estudio. De estos, 5 artículos fueron eliminados. Las razones para su descarte incluyeron: 2 artículos se realizaron en países desarrollados (Alemania y Reino Unido) y 3 artículos realizaron un análisis riesgo-beneficio sin especificar una población concreta. El resto de los artículos (11), todos en idioma inglés, constituyeron la muestra para la revisión y se muestran en la tabla 1.

Figura 1. Identificación de estudios



Fuente: Elaboración propia

Discusión

De los once artículos seleccionados que estudiaron la relación entre el impacto de la contaminación ambiental y la actividad física al aire libre en países en vías de desarrollo, diez estudios fueron realizados en China y un estudio en Brasil (Alves et al., 2018).

Seis artículos tuvieron una población de estudio mayor a 20,000, uno mayor a 100 y cuatro menores a 100. En cuanto al sexo, la mayoría (10) estudiaron poblaciones mixtas y uno se enfocó solamente en hombres. Cinco estudios incluyeron una población con rangos de edad amplios, cuatro se enfocaron en adultos jóvenes (<30 años), uno en adultos mayores a 50 años y uno no especificó las edades de sus

participantes. Todos los artículos incluyeron al menos el contaminante PM2.5. Además, seis estudios incluyeron los efectos del PM10, cuatro del PM1, tres consideraron el O3 y dos el NO2. Se encontraron seis artículos que estudiaron sólo a personas sanas sin comorbilidades, los cinco restantes se realizaron en personas con alguna de las siguientes: depresión (Ju et al., 2023), insomnio (Xu et al., 2021), obesidad (Guo et al., 2022) y diabetes mellitus tipo 2 (Ao et al., 2022).

A partir de los resultados reportados, cinco estudios identificaron a la actividad física como un factor protector aún en las circunstancias de contaminación presentes (Guo et al., 2022; Guo et al., 2022; Ju et al., 2023; Lin et al., 2021; Wu et al., 2022). Por otro lado, en tres estudios se logró identificar un umbral de contaminación (para una patología específica) en el cual el factor protector se transformaba en uno nocivo para la salud (Alves et al., 2018; Wang et al., 2019; Zhang et al., 2022). En otras dos intervenciones se estableció algo similar, sin embargo, dicho umbral se planteó como una variable dependiente de la intensidad a la cual se realizaba el ejercicio (Ao et al., 2022; Xu et al. 2021).

Con respecto a los artículos que sopesan el efecto protector en función de una enfermedad y/o síntoma(s), cinco artículos encontraron que la actividad física ayuda a contrarrestar los síntomas relacionados a la depresión, diabetes mellitus tipo 2, insomnio y obesidad (Ao et al., 2022; Guo et al., 2022; Ju et al., 2023; Wang et al., 2019; Xu et al., 2022). De manera complementaria, dos artículos encontraron que también se pueden disminuir los efectos de los contaminantes en la incidencia de enfermedades cardiovasculares, inclusive a nivel celular (Lin et al., 2021; Wu et al., 2022). Por otro lado, no solo la sintomatología se ve afectada positivamente, ya que en dos estudios se encontró que la actividad física es factor protector al medir la

Tabla 1. Características principales de la muestra, diseños de estudio, características de actividad física y hallazgos de los estudios.

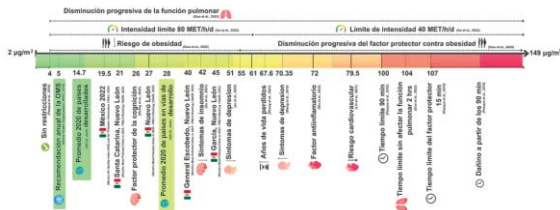
ID del Artículo	Autores (año)	País	Tamaño de la Muestra	Rango de Edad o Edad Promedio (DS)	Género Predominante (%)	Diseño de Estudio	Periodo de Estudio	Estatus de Salud	Contaminantes (Nivel de Contaminación con Rango o DS)	Actividad Física Estudiada	Variables de los Estudios	Conclusión
1	Alves et al. (2018) (42)	Brazil	116	21 a 29 años	Masculino (100%)	Transversal	2016	Personas sin enfermedades	PM2.5 (2 ug/m ³ a 149 ug/m ³) PM10 (4 ug/m ³ a 594 ug/m ³)	Actividad física recreativa de moderada intensidad durante 30 minutos	Ventilación por minuto, nivel de contaminación	Una sesión tradicional de ejercicio aeróbico moderado de 30 minutos podría inducir la inhalación de altos niveles de contaminantes cuando se realiza en las ciudades más contaminadas. Dado los diversos efectos adversos para la salud asociados con la inhalación de contaminantes atmosféricos, los resultados sugieren que los niveles de contaminación del aire de las ciudades deberían tenerse en cuenta al formular recomendaciones de ejercicio físico.
2	Ao et al. (2022) (32)	China	36,562	50 a 79 años	Femenino (58.9%)	Transversal	Mayo 2018 a septiembre del 2019	Personas con (10.8%) y sin diabetes mellitus tipo 2 (89.2%)	PM1 (27.62 ug/m ³ ±6.51) PM2.5 (40.45 ug/m ³ ±15.06) PM10 (70.0 ug/m ³ ±23.32)	Cualquier tipo de actividad física recreativa al aire libre medida en valor equivalente metabólico y duración por día.	Signos y síntomas de diabetes mellitus tipo 2. Intensidad y duración de actividad física por día. Niveles de contaminación	Los beneficios de la actividad física para la salud superaron los perjuicios de la contaminación del aire, excepto en situaciones de extrema contaminación del aire.
3	Guo et al. (2022) (36)	China	84,208	48.8 años (±14.8)	Masculino (57.1%)	Cohorte Prospectivo	2011 a 2012	Personas con y sin obesidad	PM2.5 (20.7 ug/m ³ a 105.26 ug/m ³)	Cualquier tipo de actividad física recreativa al aire libre medida en valor equivalente metabólico y duración por día.	Signos y síntomas de obesidad: IMC, circunferencia abdominal y radio cintura; estatura, Intensidad y duración de actividad física por día, nivel de contaminación	El aumento en la intensidad de la actividad física se asoció significativamente con un menor riesgo de obesidad en adultos que viven en toda China continental, donde los niveles anuales de PM2.5 superan en su mayoría los estándares.
4	Guo et al. (2022) (34)	China	75	19 a 20 años	Masculino (52%)	Casos y Controles	Octubre 2020 a junio 2021	Personas sin enfermedades.	PM1 (38.8 ± 29.2 ug/m ³) PM 2.5 (59.4 ± 45.1 ug/m ³) PM10 (122.8 ± 109.0 ug/m ³) O3 (74.0 ± 30.3 ug/m ³) NO2 (59.5 ± 26.6 ug/m ³) BC (1.94 ± 1.17 ug/m ³)	Bicicleta estacionaria en intervalos	Pruebas de función pulmonar, actividad/inactividad física	La actividad física, en comparación con la inactividad, alivió los efectos perjudiciales de los contaminantes atmosféricos en la función pulmonar.
5	Ju et al. (2023) (32)	China	21,944	18 a 65 años	Femenino (51.29%)	Cohorte Retrospectivo	Enero 2013 a diciembre 2017	Personas con depresión, con (19%) o sin enfermedades crónicas (81%).	PM2.5 (51.346 ug/m ³ ±21.68) O3 (107.448 ug/m ³ ±11.96)	Cualquier tipo de actividad física recreativa al aire libre realizada por más de 2.5 horas por semana.	Síntomas depresivos, horas de actividad física por semana	Tanto las partículas finas (PM2.5) como el ozono afectaron significativamente de manera negativa la salud mental, y la actividad física habitual contrarrestó este efecto negativo independientemente de los diferentes tipos de contaminación del aire.
6	Lin et al. (2021) (38)	China	76,176	51.2 años (± 11.8)	Femenino (59.3%)	Cohorte Prospectivo	2000 a 2001, 2007 a 2008, 2012 a 2015	Personas con diabetes (5.6%), hipertensión (33.1%), dislipidemia (30.2%) y sin enfermedad (31.3%)	PM2.5 (61 ug/m ³ en promedio, rango NR)	Caminar o ciclismo a manera de medio de transporte	Tipo de medio de transporte: caminar, bicicleta o no activo (transporte público o no), incidencia y mortalidad de/por enfermedad cardiovascular y expectativa de vida, nivel de contaminación	El desplazamiento activo se asoció con un menor riesgo de enfermedad cardiovascular, mortalidad por todas las causas y una mayor esperanza de vida en adultos chinos en entornos con niveles bajos de PM2.5.
7	Wang et al. (2019) (41)	China	20,861	18 a 76 años	Femenino (52%)	Transversal	2016	Personas con síntomas depresivos con (11%) o sin (89%) otras enfermedades	PM2.5 (70.35 ug/m ³ en promedio, rango NR)	Cualquier tipo de actividad física recreativa por semana.	Síntomas depresivos, horas de actividad física por semana, exposición a la luz solar	No solo el PM2.5 está directamente asociado con la depresión, sino que esta asociación parece estar parcialmente mediada por la actividad física, la reciprocidad vecinal y la exposición a la luz solar.
8	Wu et al. (2022) (35)	China	55	23 a 25 años	Femenino (89%)	Ensayo Clínico Aleatorizado	Noviembre 2020 a diciembre 2020	Personas sin enfermedades.	PM2.5 (37.96 ug/m ³ en promedio, rango NR)	Correr de manera recreativa	Marcadores inflamatorios relacionado a la hipertensión arterial, actividad/inactividad física	Este estudio sugiere que la actividad física moderada podría contrarrestar la elevación de la presión arterial inducida por la exposición a PM2.5 a través de vías antiinflamatorias suprimidas por micinas.
9	Xu et al. (2021) (39)	China	70,668	52.2 años (±11.4)	Femenino (80%)	Cohorte Retrospectivo	Mayo 2018 a septiembre 2019	Pacientes con (42.1%) y sin insomnio (57.9%)	PM1 (28.4 ug/m ³ en promedio, rango NR) PM2.5 (42.4 ug/m ³ en promedio, rango NR) PM10 (72.8 ug/m ³ en promedio, rango NR) O3 (77.9 ug/m ³ en promedio, rango NR) NO2 (22.6 ug/m ³ en promedio, rango NR)	Cualquier tipo de actividad física medida en valor equivalente metabólico y duración por día.	Insomnio, intensidad de actividad física	La exposición a largo plazo a concentraciones más altas de PM1, PM2.5, PM10 y O3 aumenta el riesgo de síntomas de insomnio. Niveles moderados a altos de actividad física en el tiempo libre alivian los efectos perjudiciales de la contaminación del aire en el insomnio.
10	Zhang et al. (2022) (37)	China	90	22.29 años (± 2.28)	Femenino (51%)	Longitudinal	Septiembre 2020 a junio 2021	Personas sin enfermedades.	PM2.5 (26.3 ug/m ³ en promedio, rango NR)	Cualquier tipo de actividad física moderada a vigorosa medida en minutos por día.	Función ejecutiva en señales en electroencefalograma, nivel/intensidad de actividad física	La actividad física podría ser utilizada como un enfoque preventivo para compensar los daños cognitivos causados por la contaminación del aire.
11	Zheng et al. (2021) (40)	China	13	NR	NR	Transversal	Enero a septiembre 2019	Personas sin enfermedades.	PM1.0 (56.51 ug/m ³ en promedio, rango NR) PM2.5 (72.37 ug/m ³ en promedio, rango NR) PM10 (114.35 ug/m ³ en promedio, rango NR)	Uso de bicicleta como medio de transporte.	Expectativa de vida estimada, medio de transporte: bicicleta o transporte público	El uso de bicicleta como medio de transporte se relacionó con mayor pérdida de años de expectativa de vida.

Fuente: Elaboración propia

función pulmonar y la cognición humana (Guo et al., 2022; Zhang et al., 2022). El estudio realizado en Brasil no concluye en función de efectos específicos sobre alguna condición (Alves et al., 2018). Finalmente, sólo un artículo concluyó que la exposición a la contaminación aérea en personas que realizan actividad física se correlacionó con la pérdida de meses de vida (Zheng et al., 2021).

La figura 2 pretende ilustrar los estudios en contraste para abstraer los hallazgos de forma integrada con respecto al contaminante PM2.5. Cabe mencionar que entre estos 11 estudios no hay contradicciones, sin embargo, sí hay algunas brechas que faltan por explorar en futuras investigaciones.

Figura 2. Contraste de umbrales de consecuencias en salud por PM2.5 en ug/m3 y niveles en ciertos territorios.



Fuente: Elaboración propia

Las limitaciones en nuestra revisión sistemática se relacionan a la ubicación de los estudios analizados y las medias para evaluar actividad física. La gran mayoría fueron realizados en China, por lo que hace falta realizar estudios en distintas partes del mundo donde variables propias del país y su población puedan cambiar los resultados de los estudios. De igual manera, los estudios incluidos en esta revisión tomaban distintos parámetros para medir la cantidad/calidad de la actividad física realizada. Podrían implementarse métricas estándares para la evaluación de la actividad física/ejercicio y así poder lograr un acercamiento más certero al umbral del beneficio de realizar (o no) actividad física en ambientes contaminados.

Conclusiones

Los resultados de los estudios analizados están fuertemente asociados a los niveles de contaminación. Las conclusiones de los estudios están en función de las mediciones específicas de contaminantes registrados en donde el ejercicio

puede considerarse un factor protector, y a veces, sólo en función de su intensidad y duración.

En la integración de los estudios, podría concluirse que 55 ug/m3 parece ser el punto de corte donde el factor protector del ejercicio comienza a depender de otros factores como el nivel de contaminación, la intensidad de la actividad física y el tiempo de exposición. Adicionalmente, a partir de los 61 ug/m3 se ha establecido una intensidad máxima: 80 MET/h/d para conservar el factor protector de la actividad física sobre la diabetes, ya que al sobrepasar los 61 ug/m3 la intensidad límite se reduce a la mitad (40 MET/h/d).

También es evidente que la salud mental y la cognición parecen ser las áreas más vulnerables; pues comienzan a depender del factor protector del ejercicio a partir de los 26.3 ug/m3, llegando al punto de inflexión a los 70.35 ug/m3. En cuanto al beneficio cardiovascular, este se observa aún a los 79.5 ug/m3, sin embargo, hace falta explorar de manera más específica el punto de corte para este sistema. De forma interesante, el sistema más resiliente es el respiratorio; pues, aunque se ve afectado de manera incremental a partir de los 4 ug/m3, el punto de inflexión pareciera ser hasta los 104 ug/m3, donde se delimita el tiempo de exposición a 2 horas por día.

Con respecto a la tercera variable que implica el tiempo de exposición, 100 ug/m3 parece ser un punto de corte, pues a esta concentración se ha observado la pérdida del beneficio a los 90 minutos. De manera incremental, a partir de los 107 ug/m3 el tiempo de exposición máxima se reduce a 15 min, llegando a ser perjudicial a partir de los 90 minutos. Con las consideraciones previas, las personas expuestas a más de 100 ug/m3 de PM 2.5 son quienes se ven envueltas en la paradoja, ya que la limitante del tiempo se contraponen a las recomendaciones de la OMS. Una persona expuesta a estos niveles sólo podría hacer un máximo de 105 minutos por semana para conservar el factor protector y no perjudicar más su salud.

Extrapolar los resultados de los estudios realizados hasta ahora, implica que haya comparabilidad de las circunstancias específicas de contaminación en cierta área, y luego que también se sopesen las rutinas de las personas en función de su exposición. De manera

similar, hace falta considerar el factor de edad con mayor detenimiento, específicamente en la población pediátrica, dado que los efectos sobre el desarrollo podrían ser mucho más trascendentales y condicionar la salud de forma permanente.

Si este fenómeno se calibrara a partir de una prescripción de salud pública, siempre debería partir de las condiciones de contaminación atmosférica específicas. Sin embargo, estas son muy difíciles de prever ya que las mediciones contemplan promedios por tiempo y es complejo estimar la exposición específica para una persona en particular. Es indudable que el ejercicio constituye una actividad positiva para la salud per se, e igual de claro que la contaminación aérea siempre es dañina y lo es en forma proporcional a sus niveles.

El ejercitarse en ambientes contaminados implica apostar por que los efectos positivos del ejercicio mitiguen los daños causados a la salud por la mala calidad del aire. Este juego de factores vuelve complicado encontrar el punto de equilibrio adecuado, ya que la exposición al aire libre sin ejercicio expone al daño sin ofrecer protección como mecanismo compensatorio. Sin embargo, el periodo de ejercicio y/o su intensidad en determinadas circunstancias de contaminación también podrían volverse factores de riesgo para la salud.

Dadas estas razones, sigue siendo un acertijo difícil de resolver en el contexto de las recomendaciones que podría emitir un profesional de la salud; sobre todo dada la falta de estudios que integren todos los posibles sistemas fisiológicos y/o condiciones de salud para poder hacer un cálculo de conveniencia en determinada persona. Dada la inminente evidencia de los daños que la contaminación aérea produce en las personas, es inminente la necesidad de que este riesgo se mitigue desde la política pública (en la reducción total de contaminantes) en vez de dejar esta decisión a cuenta de los individuos en un intento de procurar su propia reducción de riesgos.

Bibliografía

Ao, L., Zhou, J., Han, M., Li, H., Li, Y., Pan, Y., Chen, J., Xie, X., Jiang, Y., Wei, J., Chen, G., Li, S., Lee, H., Hong, F., Li, Z., Xiao, X., & Zhao, X. (2022). The joint effects of physical activity and air pollution on type 2 diabetes in older adults. *BMC Geriatrics*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12877-022-03139-8>

Bendíková, E. (2014). Lifestyle, physical and sports education and health benefits of physical activity. *European Researcher*, 2(2), 343-348.

Buoli, M., Grassi, S., Caldiroli, A., Carnevali, G. S., Mucci, F., Iodice, S., Cantone, L., Pergoli, L., & Bollati, V. (2018). Is there a link between air pollution and mental disorders? *Environment International*, 118, 154–168. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.05.044>

Cutrufello, P. T., Rundell, K. W., Smoliga, J. M., & Stylianides, G. A. (2011). Inhaled whole exhaust and its effect on exercise performance and vascular function. *Inhalation Toxicology*, 23(11), 658–667. <https://doi.org/10.3109/08958378.2011.604106>

D'Oliveira, A. L., Dominski, F. H., De Souza, L. C., Branco, J. H. L., Matte, D. L., Da Cruz, W. M., & Andrade, A. (2023). Impact of air pollution on the health of the older adults during physical activity and sedentary behavior: A systematic review. *Environmental Research*, 234, 116519. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116519>

Farris, S. G., & Abrantes, A. M. (2020). Mental health benefits from lifestyle physical activity interventions: A systematic review. *Bulletin of the Menninger Clinic*, 84(4), 337–372. <https://doi.org/10.1521/bumc.2020.84.4.337>

Franchini, M., & Mannucci, P. M. (2012). Air pollution and cardiovascular disease. *Thrombosis Research*, 129(3), 230–234. <https://doi.org/10.1016/j.thromres.2011.10.030>

GBD results. (2019). *Institute for Health Metrics and Evaluation*. <https://vizhub.healthdata.org/gbd-results/>

Guo, Q., Xue, T., Wang, B., Cao, S., Wang, L., Zhang, J., & Duan, X. (2022). Effects of physical activity intensity on adulthood obesity as a function of long-term exposure to ambient PM_{2.5}: Observations from a Chinese nationwide representative sample. *Science of the Total Environment*, 823, 153417. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153417>

Guo, Q., Zhao, Y., Zhao, J., Bian, M., Qian, L., Xue, T., Zhang, J., & Duan, X. (2023). Acute change of lung function to short-term exposure to ambient air pollutants with and without physical activity: A real-world crossover study. *Environmental Pollution*, 316, 120481. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120481>

Jayadipraja, E. A., Daud, A., Assegaf, A. H., & Maming. (2016). Air Pollution and Lung Capacity of People Living around the Cement Industry. *Public Health of Indonesia*, 2(2), 76–83. <https://doi.org/10.36685/phi.v2i2.69>

- Jing, T., Chen, A., He, F., Shipley, M. J., Nevill, A. M., Coe, H., Hu, Z., Zhang, T., Kan, H., Brunner, E. J., Tao, X. G., & Chen, R. (2023). Association of air pollution with dementia: a systematic review with meta-analysis including new cohort data from China. *Environmental Research*, 223, 115048. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115048>
- Ju, K., Lu, L., Wang, W., Chen, T., Yang, C., Zhang, E., Zhang, X., Li, S., Song, J., Ju, K., & Guo, Y. (2023). Causal effects of air pollution on mental health among Adults—An exploration of susceptible populations and the role of physical activity based on a longitudinal nationwide cohort in China. *Environmental Research*, 217, 114761. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114761>
- Lei, R., Feng, S., & Lauvaux, T. (2020). Country-scale trends in air pollution and fossil fuel CO₂ emissions during 2001–2018: confronting the roles of national policies and economic growth. *Environmental Research Letters*, 16(1), 014006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abc9e1>
- Li, Y., Xie, T., Melo, R. D. C., De Vries, M., Lakerveld, J., Zijlema, W. L., & Hartman, C. A. (2023). Longitudinal effects of environmental noise and air pollution exposure on autism spectrum disorder and attention-deficit/hyperactivity disorder during adolescence and early adulthood: The TRAILS study. *Environmental Research*, 227, 115704. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115704>
- Lin, Y., Yang, X., Liang, F., Huang, K., Liu, F., Li, J., Xiao, Q., Chen, J., Liu, X., Cao, J., Chen, S., Shen, C., Yu, L., Lu, F., Wu, X., Zhao, L., Wu, X., Liu, Y., Hu, D., . . . Gu, D. (2021). Benefits of active commuting on cardiovascular health modified by ambient fine particulate matter in China: A prospective cohort study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 224, 112641. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112641>
- Lu, C., Liu, Z., Yang, W., Liao, H., Liu, Q., Li, Q., & Deng, Q. (2023). Early life exposure to outdoor air pollution and indoor environmental factors on the development of childhood allergy from early symptoms to diseases. *Environmental Research*, 216, 114538. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114538>
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A review. *Frontiers in Public Health*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
- Marr, L. C., & Ely, M. R. (2010). Effect of air pollution on marathon running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(3), 585–591. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3181b84a85>
- IQAir. (2022). *Mexico air quality index (AQI) and air pollution information*. <https://www.iqair.com/us/mexico>
- OECD. (2020). *Exposure to PM_{2.5} in countries and regions*. © OECD. https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=EXP_PM2_5
- Pasqua, L. A., Damasceno, M. V., Cruz, R., Matsuda, M., Martins, M. A. G., Lima-Silva, A. E., Marquezini, M. V., Saldiva, P. H. N., & Bertuzzi, R. (2018). Exercising in Air Pollution: The Cleanest versus Dirtiest Cities Challenge. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(7), 1502. <https://doi.org/10.3390/ijerph15071502>
- Peterson, B. S., Bansal, R., Sawardekar, S., Nati, C., Elgabalawy, E. R., Hoepner, L., Garcia, W., Hao, X., Margolis, A., Perera, F. P., & Rauh, V. (2022). Prenatal exposure to air pollution is associated with altered brain structure, function, and metabolism in childhood. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 63(11), 1316–1331. <https://doi.org/10.1111/jcpp.13578>
- Ponce, P., & Alvarado, R. (2019). Air pollution, output, FDI, trade openness, and urbanization: evidence using DOLS and PDOLS cointegration techniques and causality. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(19), 19843–19858. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05405-6>
- Rajagopalan, S., Al-Kindi, S., & Brook, R. D. (2018). Air pollution and cardiovascular disease. *Journal of the American College of Cardiology*, 72(17), 2054–2070. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.07.099>
- Rodulfo, J. I. A. (2019). *Sedentarismo, la enfermedad del siglo xxi*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7068053>
- Romero-Calderón, A. T., Moreno-Macias, H., Manrique-Moreno, J. D. F., Riojas-Rodríguez, H., Torres-Ramos, Y. D., Montoya-Estrada, A., Hicks-Gómez, J. J., Segovia, B. L., Cárdenas, B. E. F., Bárcenas, C. P., & Barraza-Villarreal, A. (2017). Estrés oxidativo, función pulmonar y exposición a contaminantes atmosféricos en escolares mexicanos con y sin asma. *Salud Publica De México*, 59(6, nov-dic), 630. <https://doi.org/10.21149/7988>

- Rundell, K. W., & Caviston, R. (2008). Ultrafine and fine particulate matter inhalation decreases exercise performance in healthy subjects. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(1), 2–5. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e31815ef98b>
- Wang, L., Peng, W., Zhao, Z., Zhang, M., Shi, Z., Song, Z., Zhang, X., Chun, L., Huang, Z., Sun, X., Zhou, M., Wu, J., & Wang, Y. (2021). Prevalence and treatment of diabetes in China, 2013-2018. *JAMA*, 326(24), 2498. <https://doi.org/10.1001/jama.2021.22208>
- Wang, R., Liu, Y., Xue, D., Yao, Y., Liu, P., & Helbich, M. (2019). Cross-sectional associations between long-term exposure to particulate matter and depression in China: The mediating effects of sunlight, physical activity, and neighborly reciprocity. *Journal of Affective Disorders*, 249, 8-14. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2019.02.007>
- World Health Organization. (2024, 25 de marzo). *More physical activity*. Who.int. <https://www.who.int/teams/health-promotion/physical-activity>
- World Health Organization: WHO. (2018, 2 de Mayo). *Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado*. Who.int. <https://www.who.int/es/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action#:~:text=Seg%C3%BAAn%20nuevos%20datos%20de%20la,dom%C3%A9stico%3B%20es%20una%20cifra%20alarmante>
- World Health Organization: WHO. (2019, 30 de julio). *Air pollution*. https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1
- World Health Organization: WHO. (2022, 19 de diciembre). *Ambient (outdoor) air pollution*. [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- World Health Organization: WHO. (2022, 5 de octubre). *Physical activity*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>
- IQAir. (2023). *World's most polluted cities in 2023 - PM2.5 ranking*. <https://www.iqair.com/us/world-most-polluted-cities?continent=59af928f3e70001c1bd78e4f&country=aH4YfJrWx9fvNdqYN&state=&sort=-rank&page=1&perPage=50&cities=>
- Wu, M., Pang, Y., Chen, M., Li, L., Yan, L., Ning, J., Liu, Q., Zhang, Y., Jiang, T., Kang, A., Huang, X., Hu, W., Hu, H., Geng, Z., He, L., Wang, H., Wang, M., Yang, P., Chen, J., . . . Zhang, R. (2023). Moderate physical activity against effects of short-term PM2.5 exposures on BP via myokines-induced inflammation. *Science of the Total Environment*, 854, 158598. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158598>
- Xu, J., Zhou, J., Luo, P., Mao, D., Xu, W., Nima, Q., Cui, C., Yang, S., Ao, L., Wu, J., Wei, J., Chen, G., Li, S., Lee, H., Zhang, J., Liu, Z., & Zhao, X. (2021). Associations of long-term exposure to ambient air pollution and physical activity with insomnia in Chinese adults. *Science of The Total Environment*, 792, 148197. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148197>
- Xu, Y., Xie, J., Yin, H., Yang, F., Ma, C., Baoyi, Y., Wu, R., Guo, B., Chen, L., & Li, S. (2022). The Global Burden of Disease attributable to low physical activity and its trends from 1990 to 2019: An analysis of the Global Burden of Disease study. *Frontiers in Public Health*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1018866>
- York, R., & Rosa, E. A. (2012). Choking on modernity. *Social Problems*, 59(2), 282–300. <https://doi.org/10.1525/sp.2012.59.2.282>
- Zammit, C., Bilocca, D., Ruggieri, S., Drago, G., Perrino, C., Cavaliere, C., Balzan, M., Montefort, S., Viegi, G., & Cibella, F. (2020). Association between the Concentration and the Elemental Composition of Outdoor PM2.5 and Respiratory Diseases in Schoolchildren: A Multicenter Study in the Mediterranean Area. *Atmosphere*, 11(12), 1290. <https://doi.org/10.3390/atmos11121290>
- Zhang, Y., Ke, L., Fu, Y., Di, Q., & Ma, X. (2022). Physical activity attenuates negative effects of short-term exposure to ambient air pollution on cognitive function. *Environment International*, 160, 107070. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.107070>
- Zheng, J., Qiu, Z., Gao, H. O., & Li, B. (2021). Commuter PM exposure and estimated life-expectancy loss across multiple transportation modes in Xi'an, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 214, 112117. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112117>
- Zhou, P., Zhang, W., Xu, Y., Liu, R., Qian, Z., McMillin, S. E., Bingheim, E., Lin, L., Zeng, X., Yang, B., Hu, L., Chen, W., Chen, G., Yu, Y., & Dong, G. (2023). Association between long-term ambient ozone exposure and attention-deficit/hyperactivity disorder symptoms among Chinese children. *Environmental Research*, 216, 114602. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114602>