



*Interacción entre Contaminantes Ambientales y Salud Cardiopulmonar:  
Evaluación de Riesgos y Complicaciones*

*Interaction between Environmental Contaminants and Cardiopulmonary Health:  
Evaluation of Risks and Complications*

*Interação entre contaminantes ambientais e saúde cardiopulmonar: avaliação de  
riscos e complicações*

Mayerli Azucena Sanmartín-Pineda <sup>I</sup>  
[msanmarti4@utmachala.edu.ec](mailto:msanmarti4@utmachala.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0007-7641-5404>

Dayana Brigitte Dávila-Lucas <sup>II</sup>  
[ddavila2@utmachala.edu.ec](mailto:ddavila2@utmachala.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0004-0566-4508>

Douglas Gonzalo Bustamante-Quinde <sup>III</sup>  
[md.douglasbustamante@outlook.com](mailto:md.douglasbustamante@outlook.com)  
<https://orcid.org/0009-0005-2619-4944>

Marcos Joé Quevedo-Barberán <sup>IV</sup>  
[marcosjqb@gmail.com](mailto:marcosjqb@gmail.com)  
<https://orcid.org/0009-0004-7707-9623>

Klever Geovanny Cárdenas-Chacha <sup>V</sup>  
[kcardenas@utmachala.edu.ec](mailto:kcardenas@utmachala.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0007-7641-5404>

**Correspondencia:** [msanmarti4@utmachala.edu.ec](mailto:msanmarti4@utmachala.edu.ec)

Ciencias de la Salud  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 05 de junio de 2024 \* **Aceptado:** 15 de julio de 2024 \* **Publicado:** 05 de agosto de 2024

- I. Estudiante de Medicina de la Universidad Técnica de Machala, Ecuador.
- II. Estudiante de Medicina de la Universidad Técnica de Machala, Ecuador.
- III. Médico General, Ecuador.
- IV. Médico General de Primer Nivel de Atención, Ecuador.
- V. Profesor de la Carrera de Medicina en la Universidad Técnica de Machala, Ecuador.

## Resumen

La contaminación del aire libre y de los espacios interiores es un importante problema de salud ambiental que afecta a toda la población. Se estima que alrededor de dos millones de personas mueren al año por afecciones relacionadas con la contaminación del aire.

Prácticamente toda la población está o ha estado expuesta por la utilización de gasolina con plomo y la contaminación de aguas y suelos.

Ya existe evidencia sólida de que las personas que viven con enfermedades cardiovasculares se ven afectadas de manera desproporcionada por la mala calidad del aire y las temperaturas extremas, en gran parte debido al cambio climático, la mayor amenaza para la salud humana del siglo XXI. Identificar y evaluar el impacto de determinadas sustancias en la salud es una tarea relativamente sencilla cuando los efectos son inmediatos, como una intoxicación aguda, una intoxicación o problemas respiratorios y cutáneos. Sin embargo, establecer una relación clara de causa y efecto se vuelve significativamente más difícil cuando el agente tóxico daña gradualmente la salud durante un período prolongado o cuando los síntomas metabólicos, fisiológicos o patológicos se manifiestan mucho después de la exposición. Esto es especialmente cierto en el caso de sustancias tóxicas que contribuyen al desarrollo de enfermedades cardiovasculares o cáncer.

Para garantizar la seguridad frente a los contaminantes ambientales, es fundamental eliminar o restringir ciertas fuentes de exposición, como el humo del tabaco en espacios cerrados, y realizar cambios en ciertos hábitos de vida, incluida la dieta y el consumo de alcohol, para minimizar los riesgos.

**Palabras clave:** Contaminantes Ambientales; Salud Cardiopulmonar.

## Abstract

Contamination of free air and indoor spaces is an important environmental health problem that affects the entire population. It is estimated that around two million people die every year due to illnesses related to air contamination.

Practically the entire population is or has been exposed by the use of gasoline with pollution and contamination of water and soil.

There is solid evidence that people living with cardiovascular diseases are disproportionately affected by poor air quality and extreme temperatures, largely due to climate change, the greatest

threat to human health in the XXI century. Identifying and evaluating the impact of certain substances on health is a relatively simple task when the effects are immediate, such as acute poisoning, poisoning or respiratory and skin problems. However, establishing a clear relationship of cause and effect becomes significantly more difficult when the toxic agent gradually damages health over a prolonged period or when metabolic, physiological or pathological symptoms manifest themselves much after exposure. They are especially sure in the case of toxic substances that contribute to the development of cardiovascular diseases or cancer.

To guarantee safety against environmental contaminants, it is essential to eliminate or restrict certain sources of exposure, such as tobacco smoke in closed spaces, and make changes to certain lifestyle habits, including diet and alcohol consumption, to minimize them. risks.

**Keywords:** Environmental Contaminants; Cardiopulmonary Health.

## Resumo

A contaminação do ar livre e dos espaços interiores é um importante problema de saúde ambiental que afeta toda a população. Estima-se que cerca de dois milhões de pessoas morram ao longo do ano devido a afecções relacionadas com a contaminação do ar.

Praticamente toda a população está exposta ao uso de gasolina com gasolina e à contaminação das águas e dos solos.

Existem provas sólidas de que as pessoas que vivem com doenças cardiovasculares são afetadas de forma desproporcional pela má qualidade do ar e pelas temperaturas extremas, em grande parte devido às alterações climáticas, a maior ameaça à saúde humana do século XXI. Identificar e avaliar o impacto de determinadas substâncias na saúde é uma área relativamente sensível quando os efeitos são imediatos, como uma intoxicação aguda, uma intoxicação ou problemas respiratórios e cutâneos. No entanto, estabelecer uma relação clara de causa e efeito torna-se significativamente mais quando o agente tóxico prejudica gradualmente a saúde durante um período prolongado ou quando os sintomas difíceis metabólicos, fisiológicos ou patológicos se manifestam muito após a exposição. Isto é especialmente importante no caso de substâncias tóxicas que contribuem para o desenvolvimento de doenças cardiovasculares ou cancro.

Para garantir a segurança face aos contaminantes ambientais, é fundamental eliminar as restrições de determinadas fontes de exposição, como o humor do tabaco em espaços cerrados, e realizar

alterações em determinados hábitos de vida, incluindo a dieta e o consumo de álcool, para minimizar os riscos.

**Palavras-chave:** Contaminantes Ambientais; Saúde Cardiopulmonar.

## Introducción

La exposición a contaminantes del aire ambiental es un problema de salud pública que afecta a millones de ciudadanos en el mundo. Provenientes de diferentes fuentes, incluyendo actividades industriales, tráfico, quema de combustibles fósiles y actividades agrícolas, se tiene una creciente preocupación por los efectos de los contaminantes, como partículas pequeñas (PM), óxidos de nitrógeno (NOx), ozono (O<sub>3</sub>) y compuestos orgánicos volátiles (VOC). Todos estos contaminantes son variantes en sus propiedades físicas y químicas, pero tienen la potencialidad de causar daños tremendos a la salud humana, particularmente al sistema respiratorio y cardiovascular. (*Contaminación del aire ambiente*, 2022).

Los materiales suspendidos son la mezcla compleja tanto de partículas finas (PM<sub>2.5</sub>) como gruesas (PM<sub>10</sub>) que contienen material tanto sólido como líquido. Las PM<sub>2.5</sub>, dado que son de un tamaño muy pequeño, pueden pasar por los pulmones y entrar en el torrente sanguíneo, y es por esta razón que son muy dañinas. Son liberadas principalmente por la quema de fósiles, procesos industriales y la construcción, y causan enfermedades respiratorias y cardiovasculares, incluyendo asma, EPOC e isquemia cardíaca. (*Particulate Matter (PM) Basics* | US EPA, 2021).

El dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y el monóxido de nitrógeno (NO) son gases reactivos emitidos principalmente de la quema de combustibles fósiles a través de vehículos, plantas de energía y procesos industriales. Se sabe que los efectos adversos de la exposición a NOx incluyen inflamación de las vías respiratorias, función pulmonar reducida y mayor susceptibilidad a infecciones respiratorias: no hay otras causas. Además, el NOx es un precursor de la formación de ozono, así como de partículas secundarias que pueden aumentar sus impactos. ( | Revistas de la Asociación Estadounidense del Corazón, s/f).

El ozono de los estratos más bajos, conocido también como ozono troposférico, es una contaminación secundaria que se genera cuando los NOx y los COV reaccionan durante el día. Si bien puede que no sea tan noble como su contraparte estratosférica (que crea la capa que filtra los rayos UV), este leve irritante todavía tiene una historia que contar. Un aumento en los niveles de ozono puede tener efectos más significativos además de agravar las enfermedades crónicas de las

vías respiratorias o causar asma: conduce a la supresión de la función pulmonar y a la mortalidad cardiovascular. *(Este es el impacto de la contaminación ambiental en la salud cardiovascular, s/f)*

Los compuestos orgánicos volátiles son una categoría de químicos que son volátiles a la temperatura ambiente. Tienen una amplia variedad de fuentes, que incluyen pinturas, productos de limpieza, emisiones de vehículos e instalaciones industriales. Los COVs tienen la capacidad de formar ozono y partículas finas a través de la reacción con NOx y la luz solar. Además de los efectos directos, muchos COVs son carcinógenos, por ejemplo, el benceno, y la inhalación de tales COVs puede desencadenar una destrucción masiva del sistema cardiovascular y respiratorio. (Kim et al., 2015).

La salud cardiopulmonar, o la salud del sistema cardiovascular y respiratorio, son muy sensibles a estos contaminantes. La comunicación entre estos sistemas es vital para la homeostasis y, si se altera en un sistema, puede tener un impacto inmenso en el otro. Los contaminantes ambientales pueden desencadenar una cascada de respuestas biológicas, como la inflamación sistémica, el estrés oxidativo y la disfunción endotelial. (Ceccarelli et al., 2017).

#### **Objetivo general:**

Evaluar la interacción entre los contaminantes ambientales y la salud cardiopulmonar, determinando los riesgos y complicaciones derivadas de dicha exposición.

### **Desarrollo**

#### **Marco teórico**

##### **Contaminantes Ambientales**

La contaminación ambiental es un problema complejo y polimorfo con una multitud de contaminantes que tienen diferentes fuentes y mecanismos de acción. Los contaminantes atmosféricos más preocupantes con respecto a efectos adversos en la salud cardiopulmonar incluyen material particulado (PM), óxidos de nitrógeno (NOx), ozono (O3) y compuestos orgánicos volátiles. A continuación se explica en detalle cada uno y cómo afectan la salud. (Brunekreef & Holgate, 2002).

## Material Particulado (PM)

El material particulado es una mezcla compleja de partículas extremadamente pequeñas y gotas de líquido. Hay varias categorías de partículas, y las más importantes para la salud son las partículas finas (PM<sub>2.5</sub>) y las partículas gruesas (PM<sub>10</sub>). (Zimmermann et al., 2018).

- **PM<sub>2.5</sub>**: Partículas finas con un diámetro aerodinámico de 2.5 micrómetros o más pequeñas. Debido a su tamaño, pueden llegar a las áreas más sensibles de los pulmones y, en última instancia, a la corriente sanguínea. Algunas de las principales fuentes de PM<sub>2.5</sub> incluyen la combustión de combustibles fósiles (plantas de energía y vehículos), la quema de biomasa y algunas emisiones industriales y agrícolas. La exposición a PM<sub>2.5</sub> se ha demostrado que está asociada con una variedad de problemas de salud que incluyen enfermedades crónicas del pulmón, enfermedades cardiovasculares, cáncer de pulmón y muertes prematuras. (*Particulate Matter (PM) Basics* / US EPA, 2021)
- **PM<sub>10</sub>**: El diámetro de estas partículas es inferior a 10 micras. Aunque no penetran tan profundamente como las PM<sub>2.5</sub>, todavía tienen el potencial de causar mucho daño en las vías respiratorias superiores. La naturaleza de las fuentes de PM<sub>10</sub> es similar a la de PM<sub>2.5</sub> y las fuentes incluyen emisiones de construcción y demolición de suelo, así como la entrada de labranza y otras entradas de actividades agrícolas. (*Particulate Matter (PM) Basics* / US EPA, 2021).

Los mecanismos por los cuales las partículas PM afectan la salud incluyen, pero no limitado a, estrés oxidativo e inflamación, disfunción endotelial y coagulación de la sangre, posiblemente causando enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

## Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)

Los óxidos de nitrógeno son un compuesto de gases altamente reactivo que consiste en dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y monóxido de nitrógeno (NO). Se liberan principalmente de la combustión de automóviles, plantas de energía e industrias que utilizan combustibles fósiles. NO<sub>x</sub> es uno de los principales precursores de ozono en la tropósfera. (*Información básica sobre el NO<sub>2</sub>* | EPA de EE. UU., 2021).

- **NO<sub>2</sub>**: Es un irritante respiratorio conocido que perjudica la función pulmonar y la sensibilidad de los individuos a infecciones respiratorias. La exposición crónica a NO<sub>2</sub> ha

sido vinculada al inicio de enfermedades respiratorias crónicas y se ha documentado un aumento en la mortalidad por enfermedad cardiovascular. (*Air pollution*, s/f)

Los NOx también son precursores importantes en la formación de partículas finas y ozono en la troposfera, por lo que sus efectos adversos para la salud se amplifican. Los compuestos de NOx también pueden crear nitratos de peroxiacilo (PANs), un irritante para los ojos y el sistema respiratorio. (*Contaminación del aire y enfermedades cardiovasculares*, s/f).

### **Ozono (O3)**

El ozono troposférico es un contaminante secundario que se produce por la reacción fotoquímica de NOx y los COV en la presencia de la luz solar. El ozono troposférico es un irritante respiratorio, y el ozono estratosférico es vegetalmente mortal por rayos UV. (*Conceptos básicos sobre materia particulada (PM) | EPA de EE. UU.*, s/f).

- **Efectos en la salud:** La exposición al ozono puede causar una serie de efectos adversos en la salud de las vías respiratorias, como inflamación y lesión del tejido pulmonar, empeoramiento del asma y otras enfermedades crónicas de las vías respiratorias, y disminución de la función pulmonar. También se ha demostrado que la exposición a niveles más altos de ozono se correlaciona con un mayor efecto en la mortalidad cardiovascular. (*Ambiente, cambio climático y salud cardiovascular*, s/f)

El ozono puede combinarse con otros contaminantes del aire y compuestos orgánicos dentro del cuerpo para formar subproductos que podrían causar más daño a los tejidos y células. (Bell et al., 2013).

### **Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)**

Los compuestos orgánicos volátiles son una gran clase de moléculas compuestas de hidrocarburos, aldehídos, cetonas y otros compuestos que tienen la propiedad de vaporizarse extremadamente fácilmente a temperatura ambiente. Los COVs se emiten desde una amplia gama de cosas, desde productos químicos de limpieza y pinturas hasta solventes y emisiones de plantas industriales. (Kuang et al., 2018).

- **Efectos en la salud:** La exposición a los COVs puede causar efectos graves como irritación de la nariz, la garganta y los ojos, dolores de cabeza, mareos y reacciones alérgicas. Se ha demostrado que la exposición crónica a algunos COVs, como el benceno y el formaldehído,

produce efectos crónicos, incluido el cáncer, la toxicidad para el hígado y los riñones, y la disfunción del sistema nervioso central.(Zeng et al., 2024).

Los COV también son precursores de la formación de ozono y partículas de materia en la atmósfera, lo que empeora la severidad de condiciones médicas relacionadas con la contaminación del aire(Vásquez et al., 2015).

## Salud Cardiopulmonar

La salud cardiopulmonar es esencial para el bienestar general, ya que involucra el funcionamiento adecuado de los sistemas cardiovascular y respiratorio. Estos sistemas están interconectados y dependen uno del otro para poder mantener el equilibrio homeostático del cuerpo. La exposición a contaminantes ambientales puede llegar a tener efectos negativos de manera significativa sobre ambos sistemas, exacerbando enfermedades existentes y contribuyendo al desarrollo de nuevas patologías. A continuación, se describen las enfermedades cardiovasculares y respiratorias más comunes afectadas por la contaminación ambiental.(Kim et al., 2015).

## Enfermedades Cardiovasculares

Las enfermedades cardiovasculares son una de las principales causas de morbilidad y mortalidad a nivel mundial. Estas enfermedades afectan directamente al corazón ; así como también a los vasos sanguíneos, y su prevalencia ha ido aumentando debido a factores como el envejecimiento de la población, al estilo de vida sedentario, a la dieta poco saludable y a la exposición a contaminantes ambientales.(Vásquez et al., 2015).

- **Hipertensión:** es la condición en la que la presión arterial ejerce una fuerza excesiva contra las paredes arteriales. La hipertensión cobra gran importancia como potente precursora de enfermedades cardiovasculares graves como el infarto de miocardio, la insuficiencia cardíaca o el accidente cerebrovascular. Un culpable insidioso de este problema de salud que ya es amenazador es nuestra exposición a contaminantes ambientales, en particular partículas (PM) y óxidos de nitrógeno (NOx), que perpetúan e incluso inician el desarrollo de hipertensión a través de diversos mecanismos. Desde la activación del sistema nervioso simpático hasta el estrés oxidativo junto con la disfunción endotelial; Las partículas no simplemente ingresan al torrente sanguíneo, sino que presagian una tormenta inflamatoria



que se extiende por todas partes y afecta la forma en que se regula la presión arterial en los diferentes sistemas del cuerpo. (Bell et al., 2013)

- **Arteriosclerosis:** Es una enfermedad en la que las arterias se endurecen y se estrechan debido a la acumulación de placa en sus paredes. Esta placa está compuesta de grasa, colesterol, calcio y otras sustancias. La arteriosclerosis puede reducir o bloquear el flujo sanguíneo, lo que puede llevar a complicaciones graves como infartos de miocardio y accidentes cerebrovasculares. La exposición a contaminantes ambientales puede acelerar el proceso de arteriosclerosis a través de mecanismos como la inflamación sistémica y la disfunción endotelial. Las partículas finas (PM2.5) pueden penetrar en el torrente sanguíneo, promoviendo la formación de placa y aumentando el riesgo de eventos cardiovasculares. Además, los contaminantes como los NO<sub>x</sub> pueden inducir estrés oxidativo, que daña las células endoteliales y promueve la formación de placas ateroscleróticas. (Zeng et al., 2024)
- **Infartos de Miocardio:** O ataque cardíaco, ocurre cuando se bloquea el flujo de la sangre al corazón, causando daño al músculo cardíaco. Este bloqueo suele ser el resultado de la ruptura de una placa aterosclerótica y la formación de un coágulo de sangre. La contaminación del aire, particularmente el PM2.5 y el ozono (O<sub>3</sub>), se ha asociado con un aumento en la incidencia de infartos de miocardio. La inflamación sistémica y el estrés oxidativo inducidos por los contaminantes pueden desestabilizar las placas ateroscleróticas, aumentando el riesgo de rupturas y la formación de coágulos. Estudios epidemiológicos han demostrado que los días con altos niveles de contaminación del aire están correlacionados con un aumento en las hospitalizaciones y muertes por infartos de miocardio. (Zeng et al., 2024)

### Enfermedades Cardíacas Isquémicas

Las enfermedades cardíacas isquémicas, como la angina de pecho y la enfermedad coronaria, se originan debido a la reducción del flujo sanguíneo al corazón causada por la arteriosclerosis. Esto puede ocasionar dolor en el pecho, dificultad para respirar y, en casos graves, infartos de miocardio y muerte súbita. La contaminación atmosférica puede empeorar estas condiciones al aumentar la inflamación, el estrés oxidativo y la disfunción endotelial, exacerbando los síntomas y elevando el riesgo de eventos cardiovasculares agudos. Además, la exposición prolongada a contaminantes

puede contribuir al desarrollo de arteriosclerosis en individuos previamente sanos, incrementando así el riesgo de enfermedades cardíacas isquémicas con el paso del tiempo (Zeng et al., 2024).

En cuanto a las enfermedades respiratorias, éstas afectan las vías respiratorias, los pulmones y otras estructuras del sistema respiratorio, pudiendo ser agudas o crónicas y afectando significativamente la calidad de vida. La contaminación del aire puede agravar una variedad de estas enfermedades, teniendo un impacto serio en la salud pulmonar. (*Ambiente, cambio climático y salud cardiovascular*, s/f).

- **Asma:** Esta enfermedad crónica provoca inflamación y estrechamiento de las vías respiratorias, lo cual dificulta la respiración. La exposición a contaminantes como el material particulado (PM), óxidos de nitrógeno (NOx) y ozono (O<sub>3</sub>) puede desencadenar y empeorar los síntomas del asma. Estos contaminantes aumentan la inflamación de las vías respiratorias, la reactividad bronquial y reducen la función pulmonar. Además, los compuestos orgánicos volátiles (COVs) pueden desencadenar respuestas alérgicas que agravan el asma. Estudios indican que en áreas con altos niveles de contaminación, la prevalencia y exacerbaciones del asma son más frecuentes. (Kraemer & Longtin, 2005)
- **EPOC (Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica):** Esta enfermedad incluye condiciones como el enfisema y la bronquitis crónica, caracterizadas por la obstrucción persistente del flujo de aire y dificultad para respirar. La exposición a contaminantes como el PM<sub>2.5</sub> y el ozono (O<sub>3</sub>) ha sido vinculada con el desarrollo y progresión de la EPOC. Los mecanismos involucran inflamación crónica de las vías respiratorias, daño alveolar y estrés oxidativo. Fumadores y personas expuestas a altos niveles de contaminación tienen mayor riesgo de desarrollar EPOC, y esta exposición puede acelerar el deterioro de la función pulmonar, aumentando la frecuencia y gravedad de las exacerbaciones. (Kraemer & Longtin, 2005)
- **Cáncer de Pulmón:** Es uno de los tipos de cáncer más prevalentes y mortales, caracterizado por el crecimiento anormal de células en los pulmones. La exposición a contaminantes como PM, ozono (O<sub>3</sub>) y ciertos COVs (como el benceno) ha sido asociada con un mayor riesgo de cáncer de pulmón. Estos contaminantes pueden dañar el ADN, promover mutaciones celulares y estimular procesos inflamatorios que contribuyen al desarrollo del cáncer. La exposición prolongada a altos niveles de contaminación del aire

es un factor de riesgo significativo para el cáncer de pulmón, incluso en individuos no fumadores. Estudios indican que las áreas con alta contaminación tienen tasas más altas de incidencia y mortalidad por cáncer de pulmón (H. Kim et al., 2022).

Los mecanismos de daño causados por la exposición a contaminantes ambientales incluyen la inflamación sistémica, el estrés oxidativo y la disfunción endotelial, que contribuyen al desarrollo de enfermedades cardiopulmonares. Estos procesos no solo afectan a los pulmones, sino también al sistema cardiovascular (Lim et al., 2019).

La inflamación sistémica ocurre cuando el cuerpo detecta contaminantes dañinos. Al inhalar material particulado (PM), óxidos de nitrógeno (NOx), ozono (O<sub>3</sub>) y COVs, las células pulmonares y los macrófagos alveolares los reconocen como peligrosos, liberando citoquinas proinflamatorias como TNF- $\alpha$ , IL-6 e IL-1 $\beta$ . Estas citoquinas pueden viajar por el cuerpo y afectar otros órganos, incluido el corazón (Particulate Matter (PM) Basics | US EPA, 2021).

El estrés oxidativo ocurre cuando hay un desequilibrio entre la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y la capacidad antioxidante del cuerpo. Los contaminantes ambientales son una fuente importante de ROS. Partículas y gases reactivos como NOx y O<sub>3</sub> pueden generar ROS directamente o inducir su producción a través de enzimas oxidativas como la NADPH oxidasa y la xantina oxidasa. Las ROS pueden dañar lípidos, proteínas y ADN, causando apoptosis o necrosis celular (David & Niculescu, 2021).

La disfunción endotelial ocurre cuando el endotelio, la capa de células que recubre los vasos sanguíneos, pierde su capacidad para regular el tono vascular, la coagulación y la respuesta inflamatoria. Es notable que la disfunción endotelial precede a las alteraciones estructurales vasculares, lo que sugiere un papel protector del endotelio intacto funcionalmente. Mientras que algunos vasos son más propensos a desarrollar disfunción endotelial y aterosclerosis (como las arterias coronarias y grandes como la aorta), otros parecen ser protectores (como la arteria mamaria interna y la braquial) (Brunekreef & Holgate, 2002).

La exposición a contaminantes atmosféricos, especialmente a material particulado y NOx, puede causar disfunción endotelial al aumentar la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), activar vías inflamatorias y alterar la producción de óxido nítrico (NO). El NO, generado por la enzima óxido nítrico sintasa endotelial (eNOS), es crucial para la vasodilatación y la inhibición de la agregación plaquetaria. Los contaminantes pueden reducir la disponibilidad de NO al aumentar

la producción de ROS, que reaccionan con el NO para formar peroxinitrito, una molécula dañina para las células endoteliales.(Macgregor & McKie, 2005).

La disfunción endotelial es un precursor del aterosclerosis, facilitando la adherencia de monocitos al endotelio y su migración hacia la pared arterial, donde se convierten en macrófagos y capturan lípidos para formar células espumosas. Esto contribuye a la formación de placas ateroscleróticas y puede aumentar el riesgo de trombosis al promover la coagulación y la agregación plaquetaria, lo que puede desencadenar infartos de miocardio y accidentes cerebrovasculares. También puede contribuir a la hipertensión al alterar el equilibrio entre factores vasoconstrictores y vasodilatadores, aumentando la resistencia vascular periférica.(*Contaminación y salud cardiovascular: ¿cómo nos afecta?* / DKV 360, s/f).

En términos metodológicos, este artículo se basó en una revisión bibliográfica observacional y descriptiva sobre la interacción entre contaminantes ambientales y la salud cardiopulmonar, aplicando una metodología rigurosa para garantizar la exhaustividad y relevancia de la información recopilada durante la investigación de este tema crucial.

Se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de la literatura en bases de datos científicas reconocidas como PubMed, Scopus y Web of Science. La búsqueda se centró en estudios publicados en los últimos cinco años (2019-2024) para incluir investigaciones recientes y relevantes. Los términos de búsqueda utilizados incluyeron combinaciones de palabras clave como "contaminantes ambientales", "salud cardiopulmonar", "material particulado", "óxidos de nitrógeno", "ozono", "compuestos orgánicos volátiles", "enfermedades cardiovasculares" y "enfermedades respiratorias". Además, se aplicaron filtros para limitar los resultados a artículos revisados por pares y publicados en revistas científicas reconocidas.(Bañeras et al., 2022).

## **Criterios de inclusión**

Para asegurar la relevancia y calidad de los estudios incluidos en esta revisión, se establecieron los siguientes criterios de inclusión:

1. **Tipos de Estudio:** Se consideraron estudios epidemiológicos, clínicos y experimentales que investigaran la relación entre la exposición a contaminantes ambientales y la salud cardiopulmonar. Los estudios epidemiológicos proporcionan datos sobre la frecuencia y los patrones de enfermedades en poblaciones expuestas, mientras que los estudios clínicos y experimentales ofrecen información sobre los mecanismos biológicos subyacentes y los

efectos específicos de los contaminantes. (*La influencia del ambiente en la salud cardiovascular - Noticias médicas - IntraMed, s/f*)

2. **Idioma:** Se incluyeron únicamente publicaciones en inglés y español para asegurar que los textos fueran accesibles y comprensibles. (*Reclutamiento y selección de personal: Qué es, etapas, estrategias y técnicas, s/f*)
3. **Exposición y Efectos:** Se seleccionaron estudios que evaluaran tanto la exposición a contaminantes específicos (como material particulado, óxidos de nitrógeno, ozono y compuestos orgánicos volátiles) como sus efectos en la salud cardiopulmonar, abarcando enfermedades cardiovasculares y respiratorias.

### **Estrategias de intervención para controlar y reducir la contaminación atmosférica**

- La Agencia de Protección Ambiental (EPA) está evaluando herramientas y métodos para asistir a comunidades, estados y formuladores de políticas en el control y la reducción de los riesgos para la salud, incluidos los relacionados con el corazón, causados por la contaminación atmosférica. Se están explorando intervenciones como barreras a lo largo de las carreteras, como paredes y filas de árboles, para minimizar la exposición a contaminantes y sus efectos en la salud. Además, se han identificado intervenciones a nivel individual, como una dieta rica en ácidos grasos omega-3, que pueden proteger contra los efectos adversos en el corazón debido a la exposición a la contaminación del aire. (*La contaminación del aire y las enfermedades del corazón | US EPA, s/f*)
- La EPA está desarrollando un Atlas Nacional de Sostenibilidad, una herramienta de mapeo en línea que permite a las comunidades estimar los beneficios potenciales y los costos asociados con decisiones de planificación y desarrollo comunitario. Esto ayuda a los líderes comunitarios a evaluar los niveles de calidad del aire y sus impactos en la salud bajo diferentes escenarios de planificación, con el objetivo de reducir la exposición a contaminantes y mejorar la salud respiratoria y cardíaca. ( *Cómo los factores ambientales y de estilo de vida aumentan el riesgo cardiovascular, s/f*).

### **Tecnologías innovadoras**

- Los científicos están trabajando en el desarrollo de un modelo virtual cardiopulmonar para reemplazar el uso de animales de laboratorio y estudios clínicos en la evaluación de los

efectos para la salud derivados de la contaminación del aire. Similar a otros modelos computarizados como el Hígado virtual y el Embrión virtual, este sistema virtual permitirá predecir los impactos de los contaminantes del aire en las vías respiratorias, los pulmones y el corazón.(Tecnología., 2007).

- Utilizando tecnología computacional avanzada, la EPA evalúa los peligros y riesgos de diversas sustancias químicas para determinar aquellas más propensas a causar efectos adversos para la salud. Este enfoque permite caracterizar mezclas de sustancias y agruparlas según su potencial efecto en el cuerpo, facilitando una evaluación más rápida y económica de miles de sustancias químicas.(Protección Ambiental De Ee Uu Oficina Del Inspector General, 2021).

### **Proceso de Selección**

- Inicialmente se identificó una gran cantidad de artículos potencialmente relevantes. Para gestionar esta información, se implementó un proceso de selección en varias etapas:
- Revisión de Títulos y Resúmenes: Se revisaron los títulos y resúmenes de los estudios identificados para evaluar su relevancia. Los estudios que no cumplían con los criterios de inclusión fueron descartados en esta fase.
- Evaluación del Texto Completo: Los artículos seleccionados tras la revisión inicial fueron evaluados en su totalidad para confirmar su relevancia y calidad metodológica. Se dio especial atención a la claridad de los métodos utilizados, la validez de los resultados obtenidos y la coherencia de las conclusiones.
- Extracción de Datos: Se extrajeron datos clave de los estudios seleccionados, incluyendo detalles sobre el diseño del estudio, la población estudiada, los tipos de contaminantes analizados, los métodos de medición de la exposición, los resultados principales y las conclusiones.

### **Análisis de Datos**

1. Se llevó a cabo un análisis cualitativo de los estudios seleccionados, centrado en la evaluación de los métodos empleados, los resultados obtenidos y las conclusiones derivadas, con el fin de identificar patrones y discrepancias en los hallazgos:

2. Identificación de Patrones Comunes: Se identificaron los efectos más frecuentes de los contaminantes sobre la salud cardiopulmonar, incluyendo las enfermedades asociadas y los posibles mecanismos biológicos implicados.
3. Evaluación de la Consistencia de los Resultados: Se examinó la coherencia de los hallazgos entre diferentes estudios para determinar la robustez de las asociaciones reportadas entre la exposición a contaminantes y los efectos sobre la salud cardiopulmonar.
4. Reconocimiento de Discrepancias: Se reconocieron y analizaron las discrepancias observadas entre los estudios para explorar posibles razones, como variaciones en los diseños de estudio, las poblaciones analizadas, las metodologías de medición de la exposición y los criterios de diagnóstico de las enfermedades.
5. Síntesis de la Evidencia: Se sintetizó la evidencia disponible para ofrecer una visión global y coherente de la relación entre los contaminantes ambientales y la salud cardiopulmonar. Esta síntesis incluyó una discusión de los principales hallazgos, los mecanismos propuestos y las implicaciones para la salud pública y las políticas ambientales. (*Calidad del aire ambiente (exterior) y salud, s/f*)

## Discusión

Basándonos en nuestra investigación, podemos observar que hay múltiples factores que contribuyen a los problemas de salud cardiovascular y pulmonar que afectan a millones de personas en todo el mundo. La contaminación ambiental, tanto en espacios exteriores como interiores, sigue siendo un desafío de salud pública considerable, impactando de manera desproporcionada a las poblaciones vulnerables, incluyendo niños, ancianos y personas con enfermedades preexistentes. Los contaminantes del aire, como el material particulado (PM2.5 y PM10), los óxidos de nitrógeno (NOx), el ozono (O3) y los compuestos orgánicos volátiles (COVs), juegan un papel crucial en la exacerbación de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. La exposición a estos contaminantes puede desencadenar una serie de respuestas biológicas adversas, incluyendo inflamación sistémica, estrés oxidativo y disfunción endotelial, que no solo afectan los pulmones sino también el sistema cardiovascular. El material particulado, debido a su tamaño extremadamente pequeño, puede penetrar profundamente en los pulmones y entrar en el torrente sanguíneo, llevando a una serie de problemas de salud, incluyendo enfermedades respiratorias

crónicas, cáncer de pulmón y enfermedades cardiovasculares. (*La contaminación ambiental como factor de riesgo cardiovascular - Sociedad Española de Cardiología, s/f*).

La exposición a NOx se ha asociado con la inflamación de las vías respiratorias, reducción de la función pulmonar y un mayor riesgo de infecciones respiratorias. Además, los NOx son precursores en la formación de ozono y partículas secundarias, amplificando sus efectos adversos sobre la salud. El ozono troposférico es conocido por sus efectos irritantes sobre las vías respiratorias, causando inflamación pulmonar, exacerbación del asma y otras enfermedades respiratorias crónicas, así como una reducción de la función pulmonar. También se ha correlacionado con un aumento en la mortalidad cardiovascular. Los COVs, que incluyen sustancias como el benceno y el formaldehído, son emitidos desde una variedad de fuentes, incluyendo productos de limpieza, pinturas y emisiones de vehículos. La exposición a COVs puede causar irritación respiratoria, dolores de cabeza, mareos y reacciones alérgicas. A largo plazo, algunos COVs son carcinogénicos y pueden llevar a enfermedades graves como el cáncer de pulmón y la disfunción del sistema nervioso central. La interacción entre los contaminantes ambientales y la salud cardiopulmonar es compleja y multifacética. Los contaminantes pueden desencadenar respuestas inflamatorias que afectan tanto al sistema respiratorio como al cardiovascular. La inflamación sistémica y el estrés oxidativo son dos de los mecanismos principales a través de los cuales los contaminantes causan daño, llevando a la disfunción endotelial, que es un precursor del aterosclerosis y otras enfermedades cardiovasculares.

La exposición prolongada a niveles elevados de contaminación del aire puede inducir cambios estructurales en los pulmones y el corazón, aumentando el riesgo de enfermedades crónicas y eventos cardiovasculares agudos como infartos de miocardio y accidentes cerebrovasculares. Los estudios han demostrado que las personas expuestas a altos niveles de contaminación tienen una mayor incidencia de hospitalizaciones y mortalidad por enfermedades cardiopulmonares. Es fundamental que cada individuo tome conciencia de cómo sus acciones afectan al medio ambiente y, por ende, a su propia salud y la de los demás. La adopción de hábitos de vida saludables, como la reducción del consumo de tabaco y alcohol, una dieta equilibrada y la práctica regular de ejercicio, puede ayudar a mitigar los efectos negativos de la exposición a contaminantes. Asimismo, políticas públicas efectivas que limiten las emisiones de contaminantes y promuevan el uso de tecnologías limpias son esenciales para proteger la salud pública. (*Calidad del aire - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud, s/f*).



## Conclusiones

La contaminación del aire, tanto en espacios exteriores como interiores, representa una grave crisis de salud pública a nivel global. Cada año, se registran aproximadamente dos millones de muertes relacionadas con la contaminación del aire, subrayando la urgente necesidad de políticas y estrategias efectivas para mitigar sus efectos. Las investigaciones indican claramente que las personas con enfermedades cardiovasculares son particularmente vulnerables a la mala calidad del aire y a las condiciones climáticas extremas, exacerbadas por el cambio climático, que representa una de las mayores amenazas para la salud humana en el siglo XXI.

La exposición a contaminantes ambientales puede desencadenar varios mecanismos biológicos que contribuyen al desarrollo de enfermedades cardiopulmonares, como la inflamación sistémica, el estrés oxidativo y la disfunción endotelial. Estos procesos no solo afectan los pulmones, sino también el sistema cardiovascular, aumentando el riesgo de eventos cardiovasculares agudos y promoviendo la formación de placas ateroscleróticas. Además, la exposición prolongada a contaminantes puede inducir la arteriosclerosis en individuos previamente sanos, aumentando el riesgo de enfermedades cardíacas isquémicas a largo plazo.

Es más sencillo detectar y evaluar los efectos inmediatos de la exposición a contaminantes, como envenenamientos agudos y problemas respiratorios, en comparación con los efectos a largo plazo que pueden incluir enfermedades cardiovasculares y cáncer. No hay niveles seguros establecidos para la mayoría de los contaminantes ambientales, por lo que es esencial eliminar o reducir ciertas fuentes de exposición, como el humo del tabaco en espacios cerrados. Adoptar hábitos de vida saludables, como mejorar la dieta y reducir el consumo de alcohol y tabaco, puede significativamente reducir el riesgo de complicaciones de salud derivadas de la exposición a contaminantes.

Por último, es crucial seguir evaluando y desarrollando estrategias de intervención para controlar y reducir la contaminación atmosférica. Herramientas innovadoras, como los sistemas de mapeo cibernético y los modelos virtuales de sistemas cardiopulmonares, pueden ayudar a prever los beneficios potenciales y los costos asociados con diferentes decisiones relacionadas con la planificación y el desarrollo comunitario. Estas estrategias no solo mejoran la salud pública, sino que también reducen la exposición a contaminantes, subrayando la importancia continua de la investigación y la implementación de políticas efectivas para proteger la salud cardiopulmonar.

## Referencias

1. Cómo los factores ambientales y de estilo de vida aumentan el riesgo cardiovascular. (s/f). Recuperado el 21 de julio de 2024, de [https://www.vademecum.es/noticia-240321-c+oacute+mo+los+factores+ambientales+y+de+estilo+de+vida+aumentan+el+riesgo+cardiovascular\\_40103](https://www.vademecum.es/noticia-240321-c+oacute+mo+los+factores+ambientales+y+de+estilo+de+vida+aumentan+el+riesgo+cardiovascular_40103)
2. Air pollution. (s/f). Recuperado el 2 de junio de 2024, de [https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1)
3. Ambiente, cambio climático y salud cardiovascular. (s/f). Recuperado el 21 de julio de 2024, de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0025-76802023000100032](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0025-76802023000100032)
4. Bañeras, J., Iglesias-Grau, J., Téllez-Plaza, M., Arrarte, V., Báez-Ferrer, N., Benito, B., Campuzano Ruiz, R., Cecconi, A., Domínguez-Rodríguez, A., Rodríguez-Sinovas, A., Ujueta, F., Vozzi, C., Lamas, G. A., & Navas-Acién, A. (2022). Environment and cardiovascular health: causes, consequences and opportunities in prevention and treatment. *Revista Española de Cardiología (English Edition)*, 75(12), 1050–1058. <https://doi.org/10.1016/J.REC.2022.05.030>
5. Bell, M. L., Zanobetti, A., & Dominici, F. (2013). Evidence on Vulnerability and Susceptibility to Health Risks Associated With Short-Term Exposure to Particulate Matter: A Systematic Review and Meta-Analysis. *American Journal of Epidemiology*, 178(6), 865–876. <https://doi.org/10.1093/AJE/KWT090>
6. Brunekreef, B., & Holgate, S. T. (2002). Air pollution and health. *The Lancet*, 360(9341), 1233–1242. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)11274-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)11274-8)
7. Calidad del aire - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. (s/f). Recuperado el 21 de julio de 2024, de <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>
8. Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. (s/f). Recuperado el 21 de julio de 2024, de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
9. Ceccarelli, D., Hargroves, D., Balogun, I., & Webb, T. (2017). Case Report: Hypertensive encephalopathy mimicking cerebral vasculitis with pontine oedema, cerebellar white matter

- lesions and multiple cerebral infarctions. *BMJ Case Reports*, 2017. <https://doi.org/10.1136/BCR-2016-218155>
10. Conceptos básicos sobre materia particulada (PM) | EPA de EE. UU. (s/f). Recuperado el 2 de junio de 2024, de <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
  11. Contaminación del aire ambiente. (2022). [https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1)
  12. Contaminación del aire y enfermedades cardiovasculares. (s/f). Recuperado el 21 de julio de 2024, de <https://www.siacardio.com/editoriales/prevencion-cardiovascular/contaminacion-del-aire-y-enfermedades-cardiovasculares/>
  13. Contaminación y salud cardiovascular: ¿cómo nos afecta? | DKV 360. (s/f). Recuperado el 21 de julio de 2024, de <https://dkv.es/corporativo/blog-360/medioambiente/contaminacion/salud-cardiovascular>
  14. Error | Revistas de la Asociación Estadounidense del Corazón. (s/f). Recuperado el 20 de julio de 2024, de <https://www.ahajournals.org/doi/full/10.1161/CIRCULATIONAHA.112.117927>
  15. Este es el impacto de la contaminación ambiental en la salud cardiovascular. (s/f).
  16. Información básica sobre el NO<sub>2</sub> | EPA de EE. UU. (2021). U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2>
  17. Kim, K. H., Kabir, E., & Kabir, S. (2015). A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment International*, 74, 136–143. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2014.10.005>
  18. Kraemer, D. C., & Longtin, D. (2005). Regulating commercial cloning of animals. *Science* (New York, N.Y.), 310(5748), 621–621. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.310.5748.621A>
  19. Kuang, G., Chen, S. Z., Yan, L., Chen, K. Q., Shang, X., Liu, P. N., & Lin, N. (2018). Negative Differential Conductance in Polyporphyrin Oligomers with Nonlinear Backbones. *Journal of the American Chemical Society*, 140(2), 570–573. <https://doi.org/10.1021/JACS.7B11016>
  20. La contaminación ambiental como factor de riesgo cardiovascular - Sociedad Española de Cardiología. (s/f). Recuperado el 21 de julio de 2024, de <https://secardiologia.es/blog/5900-la-contaminacion-ambiental-como-factor-de-riesgo-cardiovascular>

21. La contaminación del aire y las enfermedades del corazón | US EPA. (s/f). Recuperado el 20 de julio de 2024, de <https://espanol.epa.gov/espanol/la-contaminacion-del-aire-y-las-enfermedades-del-corazon>
22. La influencia del ambiente en la salud cardiovascular - Noticias médicas - IntraMed. (s/f). Recuperado el 21 de julio de 2024, de <https://www.intramed.net/contenidover.asp?contenidoid=105599>
23. Macgregor, D. M., & McKie, L. (2005). CT or not CT—that is the question. Whether ‘tis better to evaluate clinically and x ray than to undertake a CT head scan! *Emergency Medicine Journal : EMJ*, 22(8), 541. <https://doi.org/10.1136/EMJ.2004.017160>
24. Particulate Matter (PM) Basics | US EPA. (2021). PubMed. <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
25. Protección Ambiental De Ee Uu Oficina Del Inspector General, A. DE. (2021). La EPA debe realizar nuevas revisiones de tecnología y del riesgo residual de las categorías de fuentes que emiten cloropreno y óxido de etileno para proteger la salud humana. [www.epa.gov/oig](http://www.epa.gov/oig)
26. Reclutamiento y selección de personal: Qué es, etapas, estrategias y técnicas. (s/f). Recuperado el 21 de julio de 2024, de <https://jobconvo.com/blog/es/reclutamiento-y-seleccion-de-personal-que-es-etapas-estrategias-y-tecnicas/>
27. Tecnología., M. D. P. P. P. y. (2007). Fondo Nacional deCiencia, Tecnología e Innovación(FONACYT).
28. Vásquez, C., Franco, M. A., & Angel, J. (2015). Rapid Proliferation and Differentiation of a Subset of Circulating IgM Memory B Cells to a CpG/Cytokine Stimulus In Vitro. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139718>
29. Zeng, J., Lin, G., Dong, H., Li, M., Ruan, H., & Yang, J. (2024). Association Between Nitrogen Dioxide Pollution and Cause-Specific Mortality in China: Cross-Sectional Time Series Study. *JMIR Public Health and Surveillance*, 10(1). <https://doi.org/10.2196/44648>
30. Zimmermann, S., Gretzinger, S., Zimmermann, P. K., Bogsnes, A., Hansson, M., & Hubbuch, J. (2018). Cell Separation in Aqueous Two-Phase Systems - Influence of Polymer Molecular Weight and Tie-Line Length on the Resolution of Five Model Cell Lines. *Biotechnology journal*, 13(2). <https://doi.org/10.1002/BIOT.201700250>

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).