

Efectos de la contaminación ambiental sobre la salud de la población mediante una revisión narrativa

Effects of environmental pollution on population's health through a narrative review

Diana Carolina Zona Rubio¹, Carlos Duván Páez Mora², Nathalie Stephanny Ramírez Arenas³, Ana María Soler Guatibonza⁴

Resumen

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) es importante que cada país establezca estrategias que mitiguen la contaminación ambiental, en especial del aire, ya que esto contribuye a disminuir la prevalencia e incidencia de patologías como: eventos cerebrovasculares, cáncer de pulmón y enfermedades pulmonares agudas y crónicas. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar los efectos a corto y largo plazo que tiene la contaminación ambiental sobre la salud de la población por medio de una revisión narrativa de tipo cualitativo y descriptivo. El método de búsqueda e identificación de los estudios se realizó por medio de las siguientes bases de datos electrónicas: Medline, PubMed, Science Direct; con un estado del arte de máximo cinco años posteriores a su fecha de publicación. De acuerdo con la búsqueda realizada se seleccionaron un total de 10 artículos de 7.869, en los cuales se encontraron efectos de la contaminación ambiental en la salud humana a nivel respiratorio, cardiovascular, hepático, neurológico, gestacional e inmunológico. Los resultados de esta revisión narrativa confirman los efectos asociados del deterioro de la salud relacionados con la contaminación ambiental a corto y largo plazo debido a las partículas contaminantes encontradas en el ambiente. Se recomienda avanzar en investigaciones que describan a fondo los efectos de la contaminación sobre el desarrollo infantil, así mismo, identificar los valores mínimos permitidos en grandes ciudades para controlar los efectos de la contaminación ambiental a largo plazo.

Palabras claves: contaminación ambiental, partículas contaminantes, efectos corto plazo, efectos largo plazo, material particulado.

¹ Magister en Ciencias Farmacología.
Universidad Manuela Beltrán.

² Magister en Salud Pública y Desarrollo Social. Universidad Manuela Beltrán.

³ Terapeuta Cardiorrespiratoria.
Universidad Manuela Beltrán.

⁴ Terapeuta Cardiorrespiratoria.
Universidad Manuela Beltrán.

Autor de correspondencia:

Diana Carolina Zona Rubio
Correo electrónico:
diana.zona@docentes.umb.edu.co

Recibido: 27/09/2021

Aceptado: 4/10/2022

Abstract

According to the World Health Organization (WHO), it is important that each country show strategies to mitigate environmental pollution, especially air pollution. since this contributes to reducing the prevalence and incidence of pathologies such as cerebrovascular events, lung cancer, and acute and chronic pulmonary diseases. Therefore, the aim of this research was to determine the short and long-term effects of environmental pollution on the health of the population through a qualitative and descriptive narrative review. The method of searching and identifying the studies was carried out through the following electronic databases: Medline, Pubmed, Science Direct, among others; with a state of the art of maximum 5 years after its publication date. According to the search carried out, a total of 10 articles were selected out of 7.869 in which the effects of environmental pollution on human health at the respiratory, cardiovascular, hepatic, neurological, gestational and immunological levels were found. The results of this narrative review confirm the associated effects of deterioration of health related to environmental pollution in the short and long term due to the contaminating particles found in the environment. It is recommended to advance in research that thoroughly describes the effects of pollution on child development, as well as to identify the minimum values allowed in large cities to control environmental pollution effects in the long term.

Keywords: environmental pollution, polluting particles, short-term effects, long-term effects, particulate matter.

Introducción

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) la contaminación del aire es la causante de al menos 7 millones de muertes evitables en el mundo (1). Por su parte, en Latinoamérica cada año mueren 138.000 personas por estas causas (2). En Colombia, según el Instituto Nacional de Salud al menos 15.681 personas murieron en 2021 por condiciones asociadas a la calidad del aire, sin duda es un gran costo económico y moral pues se trata de muertes evitables (3). Las causas de esta problemática se deben al acelerado crecimiento de las poblaciones en zonas urbanas, las industrias, la

quema de residuos, el uso de combustibles fósiles, entre otros (1,4).

Estas acciones generan diferentes tipos de gases como el ozono O₃ (valor fijado por la OMS 100 µg/m³, máximo diario de periodos de 8 horas), dióxido de azufre SO₂ (valor fijado por la OMS 40 µg/m³ de media diaria), monóxido de carbono CO (valor fijado por el IDEAM 10.000 µg/m³ por 8 horas), dióxido de nitrógeno NO₂ (valor fijado por la OMS 10 µg/m³ de media anual), metano, carbono negro y materiales suspendidos en micropartículas (valor fijo por la OMS 5 µg/m³ de media anual) que pueden ingresar al cuerpo humano. Este material particulado (PM) cobra gran relevancia pues es el componente del aire con mayor capacidad de daño a la salud humana. El PM se puede medir en micras, las más peligrosas para la salud son las de menos de 10 micras que pueden ingresar a los pulmones, hasta partículas inferiores a las 2.5 micras, que por su tamaño pueden entrar al torrente sanguíneo e incluso llegar al cerebro (4–6).

Se sabe que la mortalidad asociada a la contaminación del aire ocurre en un 88 % en poblaciones de ingresos bajos o medios, lo cual la ha posicionado según la Organización Panamericana de la Salud (OPS) como “El principal riesgo ambiental para la salud pública en las Américas” (7).

Los niveles de contaminación atmosférica han disminuido en los países desarrollados, mientras que en los países en desarrollo y los países en transición el problema está disminuyendo a un ritmo muy bajo o incluso empeorando, de allí la importancia de esta revisión (8).

Los esfuerzos en las agendas públicas de salud global como los Objetivos de Desarrollo Sostenible y las estrategias nacionales de gestión de la salud pública ahora también se centran en disminuir los riesgos asociados a la exposición de contaminantes ambientales y controlar los efectos sobre la salud de las poblaciones (1,9). Determinar los efectos de la contaminación ambiental sobre la salud humana contribuye a la toma de decisiones en salud pública para generar estrategias de control y concientización de la problemática.

Material y Métodos

Este estudio es una revisión narrativa de tipo cualitativo y descriptivo. El método de búsqueda de los estudios se realizó por medio de las siguientes bases de datos electrónicas: Medline, PubMed y Science Direct, utilizando los siguientes términos *MESH* y texto libre: *air pollution, pollutants, health, short term effects, long term effects, respiratory system, diseases, respiratory system agents, respiratory function*.

Se incluyeron estudios que cumplieran con los siguientes criterios de selección.

Tipos de estudios: observacionales, de caso, de corte, revisiones de la literatura, revisiones sistemáticas y metaanálisis, teniendo en cuenta las características de la intervención y de los resultados.

Tipos de participantes: estudios realizados en población que presentaran efectos en la salud a causa de la contaminación ambiental.

Tipos de intervenciones: artículos o estudios que describieran los efectos de la exposición a la contaminación ambiental en niños, adultos jóvenes y adultos mayores.

Tipos de medidas de resultados: artículos que presentaran la evaluación de los efectos de la contaminación ambiental sobre la salud a corto y largo plazo.

Efectos a corto plazo (menos de un año de exposición):

- Irritación ocular
- Hipersecreción nasal
- Hipersecreción bronquial
- Tos

Efectos a largo plazo (mayor a un año de exposición):

- Cáncer pulmonar
- Asma
- EPOC
- Diabetes
- Silicosis

Criterios de Exclusión

Artículos con conflictos de interés, con fecha de publicación anterior a 2015 o en otro idioma que no fuera español o inglés.

Resultados

La búsqueda se realizó en dos momentos diferentes, la primera en septiembre de 2020 y la actualización en enero de 2022. La selección inicial de los artículos fue por título y resumen, incluyendo aquellos que cumplieran con los criterios de inclusión. De los estudios seleccionados, se recuperó el artículo completo para evaluación final, inclusión y extracción de datos.

La evaluación de los artículos fue realizada por dos evaluadores de forma independiente con el fin de evitar errores. En caso de presentarse desacuerdo con la evaluación, se resolvió por medio de discusión con un tercer autor para solucionar las discrepancias. En la Figura 1 se presentan los resultados del tamizaje y selección de los artículos.

De acuerdo con la búsqueda realizada en las bases de datos mencionadas en la metodología, de un total de 8.442 artículos se excluyó un total de 1.322 artículos duplicados, para un total de 7.120, los cuales al ser revisados se incluyen 40 y son excluidos 7.080 por las siguientes razones: 945 artículos por ser anteriores al año 2015, 1.238 artículos con idioma diferente al español o inglés, 3.349 artículos son de acceso libre y/o se presentaban en resumen y 1.548 artículos no tenían relación con el tema de la investigación.

De acuerdo con la búsqueda realizada en las bases de datos mencionadas en la metodología, de un total de 8.442 artículos se excluyó un total de 1.322 artículos duplicados, para un total de 7.120, los cuales al ser revisados se incluyen 40 y son excluidos 7.080 por las siguientes razones: 945 artículos por ser anteriores al año 2015, 1.238 artículos con idioma diferente al español o inglés, 3.349 artículos son de acceso libre y/o se presentaban en resumen y 1.548 artículos no tenían relación con el tema de la investigación.

Luego se seleccionaron 22 artículos que fueron revisados para comprobar los criterios de inclusión

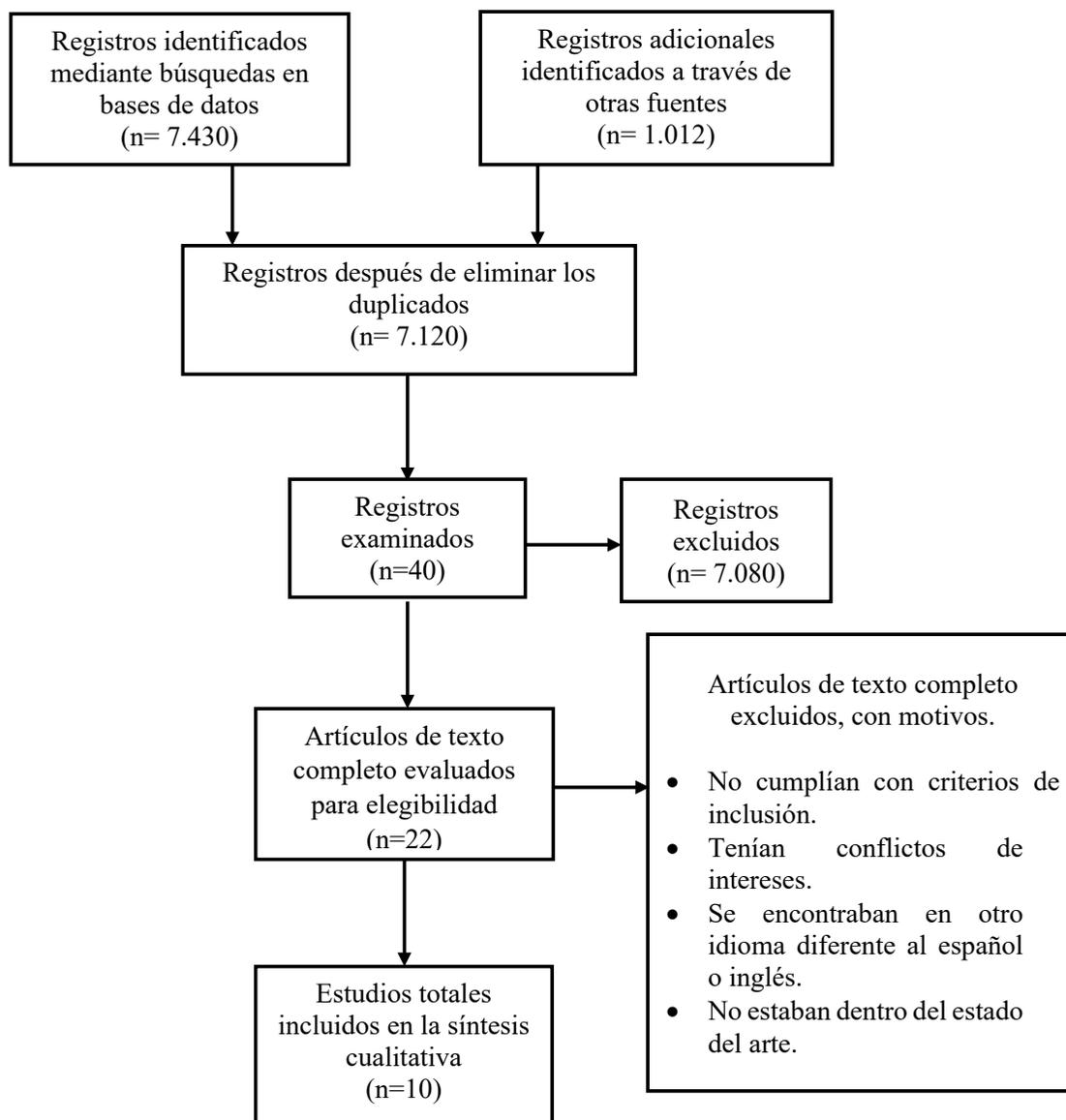


Figura 1. Resultados del tamizaje y selección de los artículos

y exclusión, obteniendo como resultado un total de 10 artículos que componen los resultados de la investigación. A continuación, se describen los resultados de los artículos analizados.

Calderón et al., en su estudio *Air pollution, a rising environmental risk factor for cognition, neuroinflammation and neurodegeneration: The clinical impact on children and*

beyond, encontraron que la neuroinflamación difusa, el daño a la unidad neurovascular y la producción de autoanticuerpos contra las proteínas neurales y de unión estrecha son hallazgos preocupantes en niños expuestos crónicamente a concentraciones superiores a los actuales estándares para ozono y partículas finas (PM2.5) y pueden constituir un riesgo significativo para el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer

más adelante en la vida. También el papel de la contaminación del aire como factor de riesgo para la esclerosis múltiple, centrándose en los efectos de PM10 y óxido de nitrógeno (10).

En segundo lugar, en el artículo *Short-Term Effects of Air Pollution on Respiratory and Circulatory Morbidity in Colombia*, Rodríguez et al. exponen que los efectos de algunos contaminantes difieren entre ciudades. Para NO₂, PM10 y PM2.5 los modelos de ciudades múltiples mostraron incrementos porcentuales mayores y estadísticamente significativos en situaciones de emergencia y en visitas a los servicios de salud por enfermedades respiratorias, particularmente para el grupo de edad de 5 a 9 años. Estos mismos contaminantes también afectaron significativamente la tasa de visitas al servicio de urgencias por enfermedades circulatorias, especialmente para el grupo de personas mayores de 60 años (11).

Adicionalmente, Bo-Yi Yang et al. en su revisión sistemática *Global association between ambient air pollution and blood pressure: A systematic review and meta-analysis*, encontraron asociaciones significativas de exposiciones a largo plazo a PM2.5 con hipertensión. Además, a corto plazo exposiciones a dos (PM2.5 y SO₂) y cuatro contaminantes del aire (PM10, PM2.5, SO₂, y NO₂), se asociaron significativamente con hipertensión. En conclusión, el estudio indica una asociación positiva entre la contaminación del aire ambiental y aumento de la presión arterial e hipertensión (12).

Ramsey et al. describen en su estudio *Air pollution during pregnancy and lung development in the child*, que a medida que la organogénesis del pulmón continúa durante el embarazo, los efectos dañinos de la exposición prenatal a los contaminantes del aire sobre el desarrollo pulmonar parecen inevitables y pueden seguir afectando el desarrollo pulmonar más adelante en la vida. Los estudios epidemiológicos respaldan claramente la evidencia de resultados de la función pulmonar deteriorada y un aumento de los síntomas respiratorios después de la exposición prenatal a la contaminación del aire.

Además de afectar directamente el desarrollo pulmonar, la exposición a la contaminación del aire durante el embarazo aumenta los riesgos de parto prematuro, reducción del peso al nacer y deterioro

del desarrollo del sistema inmunológico, lo que puede influir significativamente en la morbilidad respiratoria en el futuro (13).

Asimismo, Gouveia et al. en su artículo *Effects of air pollution on infant and children respiratory mortality in four large Latin American cities*, presenta los siguientes resultados teniendo en cuenta que las grandes ciudades de Latinoamérica albergan a casi 43 millones de personas y los niveles de contaminación se ubican por encima de las pautas de la OMS. Para PM10, el aumento porcentual del riesgo de muerte debido a enfermedades respiratorias en los lactantes en un modelo de efectos fijos fue del 0.47 %. Para las muertes respiratorias en niños de 1 a 5 años, el aumento del riesgo fue del 0.58 %, mientras que se observó un efecto mayor para las infecciones de las vías respiratorias inferiores (IRB) en niños de 1 a 14 años. Para el ozono (O₃) la única estimación resumida estadísticamente significativa fue para LRI en lactantes. El análisis por temporada mostró efectos del O₃ en la estación cálida para las enfermedades respiratorias en los bebés, mientras que se observaron efectos negativos para las muertes respiratorias y LRI en los niños (14).

Sumado a lo anterior, Gladka et al. en su estudio *Impact of air pollution on depression and suicide*, exponen que la contaminación del aire puede afectar al sistema nervioso central de muchas formas, entre otras a través de una inflamación neuropática, un estrés oxidativo o un daño a los vasos sanguíneos. Sus componentes atraviesan la barrera hematoencefálica, donde no solo las propias partículas, sino también diversos compuestos tóxicos absorbidos en su superficie pueden provocar cambios patológicos. Teniendo en cuenta la complejidad de la respuesta del cuerpo a la contaminación del aire, la patología del sistema nervioso central probablemente sea causada por la interacción sinérgica de muchas vías y mecanismos. Numerosos artículos sugieren la relación entre la contaminación del aire y una mayor prevalencia de trastornos depresivos y suicidios (15).

Zhongqi Li en su documento *Long-term effect of exposure to ambient air pollution on the risk of active tuberculosis*, sugieren

que hay una asociación potencial entre la exposición al aire libre a PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂ y NO₂ y tuberculosis activa. Teniendo en cuenta que las personas de los países en desarrollo continúan expuestas tanto a la contaminación del aire exterior grave como a las altas tasas de infección de tuberculosis latente, la asociación entre el empeoramiento de la contaminación del aire y la tuberculosis activa requieren mayor atención (16).

Goldizen Et al. en su estudio *Respiratory Effects of Air Pollution on Children*, proponen que en la biomasa y la quema de combustibles sólidos deben considerarse cuestiones de justicia social y derechos humanos para las que existen soluciones pero que no se aplican ampliamente. Se requiere una mayor comprensión de las consecuencias adversas para la salud por la exposición a la contaminación del aire en los primeros años de vida, para alentar a los encargados de formular políticas a reducir dichas exposiciones y mejorar la salud humana (17).

Adicional a lo anterior, Rodríguez et al. presenta en su estudio Análisis espacial de las concentraciones de PM_{2.5} en Bogotá según los valores de las guías de la calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud para enfermedades cardiopulmonares, sugieren que la localidad de Kennedy presentó las mayores concentraciones de PM_{2.5} en todas las franjas horarias. Los valores registrados en esta zona y clasificados según las guías diarias y anuales de calidad del aire evidenciaron que la localidad presentaría un incremento de 1.2 % en la mortalidad cardiopulmonar en el corto plazo y de 9 % en el largo plazo (18).

Finalmente, Prisco et al. presentan en su artículo *The mechanisms of air pollution and particulate matter in cardiovascular diseases*, que la exposición a corto y largo plazo a PM contribuye al desarrollo y progresión de enfermedades cardiovasculares agudas y crónicas. El PM puede entrar fácilmente en el sistema respiratorio y contribuye al desarrollo de eventos cardiovasculares al inducir una enfermedad inflamatoria sistémica o afectar el sistema nervioso autónomo. Dada la continua variabilidad de la contaminación del aire que

se asocia con la evolución del progreso tecnológico, y movimientos individuales a través de numerosos microambientes todos los días, no es de extrañar que los datos de los estudios de contaminación del aire podrían ser muy variables (19).

A continuación, se prestan los efectos de la contaminación por sistemas.

Efectos de la contaminación ambiental en el sistema respiratorio

Se encontró que todo tipo de contaminación del aire en alta concentración (por encima de los valores fijados por la OMS) puede afectar las vías respiratorias. Sin embargo, también se observan efectos similares con la exposición a largo plazo a concentraciones más bajas de contaminantes. A corto plazo (exposición inferior a un año, de acuerdo con la agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades) se encontraron efectos como irritación de la nariz y la garganta, seguidos de broncoconstricción y disnea, especialmente en individuos asmáticos expuestos a niveles elevados de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y ciertos metales como arsénico, níquel o vanadio (20,21).

A largo plazo (exposición superior a un año, de acuerdo con la agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades) la inflamación sostenida del parénquima pulmonar por el material particulado menor de 10 micras da origen a enfermedades crónicas como la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). Por su parte, la exposición crónica al ozono y a ciertos metales pesados reducen la función pulmonar e incluso se asocian con cáncer de pulmón (22–24).

En el estudio realizado por Rodríguez, L y colaboradores se analizaron los efectos a corto plazo entre la contaminación del aire y la morbilidad respiratoria y circulatoria en cuatro de las principales ciudades de Colombia. Los resultados confirman los efectos nocivos del aumento de las concentraciones de contaminantes medido como un aumento

porcentual de las visitas a los servicios de urgencias por enfermedades respiratorias particularmente para el grupo de edad de 5 a 9 años; así como también afectaron significativamente la tasa de visitas al departamento de emergencias por enfermedades circulatorias, especialmente para el grupo de personas mayores de 60 años (25).

La asociación positiva entre las concentraciones de contaminantes particularmente PM10, PM2.5, dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y el aumento porcentual de las morbilidades atendidas en los servicios de emergencia fue evidente, incluso cuando las concentraciones promedio anuales de contaminantes estuvieron por debajo de los estándares estipulados por la legislación colombiana basados en las pautas de calidad del aire de la OMS (1,25).

Efectos de la contaminación ambiental en el sistema cardiovascular

En cuanto al sistema cardiovascular, en el estudio de Badman y colaboradores se describen los efectos de la unión del monóxido de carbono a la hemoglobina modificando su conformación y reduciendo su capacidad para transferir oxígeno. La reducción en la disponibilidad del oxígeno afecta la función de diferentes órganos (especialmente los órganos diana, como el cerebro y el corazón), lo que puede generar retardo en la respuesta de los reflejos y confusión (26).

Los cambios inflamatorios sistémicos inducidos por el material particulado en el sistema circulatorio afectan directamente la coagulación de la sangre, lo que a largo plazo podría obstruir los vasos sanguíneos provocando un evento cerebrovascular o un síndrome coronario agudo (27,28). También se evidenciaron eventos como taquicardia, aumento de la presión arterial y anemia debido al efecto inhibitorio de la hematopoyesis como consecuencia de la contaminación por metales pesados (específicamente mercurio, níquel y arsénico) (23,29).

En el estudio de Bo-Yi Yang y colaboradores se encontraron efectos a largo plazo relacionados con

una exposición prolongada a material particulado (PM) de 10 micras, PM2.5, dióxido de nitrógeno (NO₂) y óxido de nitrógeno (NO_x) sobre los niveles de presión arterial. También se asoció el dióxido de azufre (SO₂) y el ozono (O₃) con hipertensión, y el PM2.5- PM10 con enfermedad arterial periférica. El PM 2.5 tuvo una asociación significativa con la presión arterial diastólica elevada (DBP) en estudios con niveles bajos de contaminantes del aire (12).

Efectos de la contaminación ambiental en el sistema nervioso

El sistema nervioso se ve afectado principalmente por metales pesados (plomo, mercurio y arsénico) y dioxinas. Se ha observado neurotoxicidad que conduce a neuropatías con síntomas como: alteraciones de la memoria, trastornos del sueño, fatiga, temblores en las manos, visión borrosa y dificultad para hablar después de la exposición a arsénico, plomo y mercurio (30,31). Especialmente la exposición al plomo demostró daño en el sistema de dopamina, el sistema de glutamato y el complejo receptor de N-metil-D-aspartato (NMDA), que desempeñan un papel importante en las funciones de la memoria (32,33).

El mercurio también se asocia con ciertos tipos de cáncer del sistema nervioso. Por su parte, las dioxinas reducen la velocidad de conducción nerviosa y deterioran el desarrollo mental de los niños (23,34). Gladka y colaboradores describen cómo la contaminación del aire puede afectar el sistema nervioso central, debido a inflamación neuropática, un estrés oxidativo o un daño a los vasos sanguíneos. Los componentes del material particulado atraviesan la barrera hematoencefálica donde pueden causar cambios patológicos y comportamentales, incluso relacionándolos a la prevalencia de trastornos depresivos y suicidios. Su etiología es extremadamente compleja, si bien la epidemiología indica un mayor riesgo de depresión y suicidios en personas expuestas a aire contaminado, aún es necesario hacer más estudios clínicos para comprender los efectos de la contaminación ambiental en la salud mental (15).

Durante los últimos 15 años, la contaminación del aire también se ha considerado un potente factor de riesgo ambiental para enfermedades neurológicas. De ahí que, en el estudio de Calderón y colaboradores se describen los efectos a largo plazo en el cerebro de los niños como la neuroinflamación difusa, el daño a la unidad neurovascular y la producción de autoanticuerpos contra las proteínas neurales y de unión estrecha. Estos hallazgos son preocupantes ya que los niños expuestos a altas concentraciones de ozono y partículas finas (PM2.5), tienen un riesgo significativo para el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer (10).

Efectos de la contaminación ambiental en mujeres en gestación

La exposición materna a metales pesados especialmente al plomo aumenta los riesgos de aborto espontáneo y reducción del crecimiento fetal (parto prematuro, bajo peso al nacer). También hay evidencia que sugiere que la exposición de los padres al plomo es responsable de malformaciones congénitas y lesiones del sistema nervioso en desarrollo, que causan un deterioro importante en las habilidades motoras y cognitivas del recién nacido (35,36).

De manera similar, se encontró que las dioxinas se transfieren de la madre al feto a través de la placenta actuando como disruptores endocrinos y afectan el crecimiento y desarrollo del sistema nervioso central del feto (23,37).

Como lo expresa Korten y colaboradores en su artículo *Air pollution during pregnancy and lung development in the child*; los contaminantes del aire también pueden afectar al feto en desarrollo. A medida que la organogénesis del pulmón continúa durante el embarazo, los efectos dañinos de la exposición prenatal a los contaminantes del aire sobre el desarrollo pulmonar parecen inevitables y pueden seguir afectando el desarrollo pulmonar a lo largo de la vida. Los estudios epidemiológicos respaldan claramente la evidencia de deterioro en la función pulmonar y aumento de los síntomas

respiratorios después de la exposición prenatal a la contaminación del aire. Además de afectar el desarrollo pulmonar, la exposición a la contaminación del aire durante el embarazo aumenta los riesgos de: parto prematuro, reducción del peso al nacer y deterioro del desarrollo del sistema inmunológico, lo que puede influir significativamente en la morbilidad respiratoria en el futuro (38,13).

Gouveia y colaboradores en su estudio *Effects of air pollution on infant and children respiratory mortality in four large Latin-American cities*, analizaron cuatro ciudades latinoamericanas que albergaban casi 43 millones de personas con una gran población infantil expuesta a niveles de contaminación del aire muy por encima de las pautas recomendadas por la OMS para PM10 y O3. Aunque el número diario de muertes fue relativamente bajo en todas las ciudades durante la investigación y los resultados del análisis de cada ciudad fueron bastante variados, la investigación encontró impactos estadísticamente significativos de la contaminación del aire en la mortalidad respiratoria de bebés y niños (14).

Efectos de la contaminación ambiental en otros sistemas

En cuanto al sistema urinario, los metales pesados pueden inducir daño renal, como una disfunción tubular inicial evidenciada por un aumento en la excreción de proteínas de bajo peso molecular, que progresa a una tasa de filtración glomerular (TFG) disminuida. Además, aumentan el riesgo de formación de cálculos o nefrocalcinosis y cáncer renal (23,39–41).

Por otro lado, en el sistema digestivo las dioxinas inducen tanto a daño a las células hepáticas como lo indica un aumento en los niveles de ciertas enzimas en la sangre, como a cáncer gastrointestinal y de hígado (42,43).

Discusión

Dados los continuos cambios de los contaminantes que afectan la calidad del aire asociado a sus formas

de producción, no es de extrañar que los datos de los estudios sean variables (44). Esto podría limitar la capacidad de vincular significativamente los resultados de salud con un solo contaminante y requiere, en estudios futuros, el uso de nuevas herramientas para medir la contaminación total del aire, mezclar y cuantificar los efectos de la exposición y evaluar los efectos tóxicos de la combinación de los contaminantes. Las intervenciones para reducir la contaminación del aire pueden generar grandes beneficios para la salud pública al reducir el riesgo de enfermedades a corto y largo plazo en los diferentes sistemas del cuerpo humano (44).

Las alteraciones del aire generan efectos tanto en niños como en adultos causando enfermedades como asma, cáncer de pulmón, EPOC, infecciones del tracto respiratorio entre otras. Se ha demostrado que la exposición prenatal a los contaminantes ambientales durante el segundo trimestre de gestación aumenta el riesgo de infección, tos, dificultades respiratorias y síntomas nasales en los bebés (17,45).

Varias intervenciones realizadas en las últimas décadas han disminuido significativamente la exposición a contaminantes del aire. De hecho, las nuevas prohibiciones de fumar en lugares públicos y la generación de automóviles con dióxido de carbono (CO₂) reducido han sido útiles para disminuir la cantidad de contaminación. El problema central radica en que, con el pasar del tiempo se identifican nuevos riesgos a la salud relacionados con la exposición al aire y por ende nuevas asociaciones a enfermedades y muertes que en este momento desconocemos (46,47).

Lo anterior se puede relacionar con la investigación realizada por Goldizen: *Respiratory Effects of Air Pollution on Children* la cual si bien hay una cantidad considerable de datos que relacionan la exposición temprana a la contaminación del aire con los efectos adversos para la salud, continúan existiendo importantes vacíos de conocimiento. Un componente sustancial de la carga mundial de morbilidad es atribuible directamente a la exposición a la contaminación del aire (17,46).

Conclusiones

Esta revisión de la literatura permitió identificar que partículas contaminantes suspendidas en el aire como: material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) y dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O₃) y monóxido de carbono (CO), tienen efectos deletéreos en los distintos órganos y sistemas del cuerpo humano, generando gran variedad de implicaciones patológicas. Estas exposiciones conllevan a diversas alteraciones en el funcionamiento natural del cuerpo humano, en especial en los sistemas respiratorio, cardiovascular, nervioso y renal.

Aún existen vacíos de conocimiento relacionados con los efectos de la contaminación del aire y el desarrollo infantil, tema sobre el cual hay que priorizar nuevas investigaciones. También existe un gran vacío de conocimiento sobre los valores mínimos de contaminación para controlar los efectos en la salud, en especial por la exposición sostenida a largo plazo. Una iniciativa para controlar la calidad del aire en las ciudades es la instalación de sensores y centros de monitoreo que se encargan de alertar sobre los niveles de contaminación atmosférica. Estos funcionan con el apoyo de la OMS quien determina los límites máximos establecidos por cada contaminante. Cuando la calidad del aire se deteriora por encima de los niveles permitidos en alguna zona, se activan las alertas y las entidades de salud pública toman acciones al respecto.

Sin embargo, la OMS en 2021 limitó los valores aceptables de contaminación del aire y los modificó a unos inferiores ya que, nuevas investigaciones advertían que a pesar de tener niveles de contaminación controlados, la exposición sostenida a largo plazo (aún por debajo de los límites inferiores recomendados por la OMS) eran causantes de efectos graves sobre la salud y se relacionaban con millones de muertes en el mundo, incluso fue descrita como “una de las mayores amenazas medioambientales para la salud humana” (1).

Estas acciones demuestran vacíos de conocimiento sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud humana, en especial a largo plazo. Seguramente en un futuro se descubrirán más alteraciones patológicas o nuevos contaminantes y se podrá determinar qué límites son realmente seguros. Lo cierto es que las iniciativas para reemplazar los combustibles industriales y vehiculares figuran como una esperanza para controlar los contaminantes y respirar un aire de calidad que no afecte la salud de la población. Existe una línea delgada entre el desarrollo económico e industrial y las consecuencias para la salud humana que sería interesante ampliar en nuevas investigaciones.

Conflicto de interés: Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés.

Referencias

1. Organización Mundial de la Salud. Las nuevas directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire tienen como objetivo evitar millones de muertes debidas a la contaminación del aire [Internet]. 2021 [citado 2022 Feb 28]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>
2. Centro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina. Calidad del aire: un problema urgente para América Latina y el Caribe [Internet]. CODS. 2019 [citado 2022 Feb 28]. Disponible en: <https://cods.uniandes.edu.co/calidad-del-aire-un-problema-urgente-para-america-latina-y-el-caribe/>
3. Ministerio de Salud. Minsalud comprometido con la calidad del aire [Internet]. 2021. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Minsalud-comprometido-con-la-calidad-del-aire.aspx>
4. Cognuck González S, Daly A. Calidad del aire: ¡Es el momento de actuar! [Internet]. Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF); 2021 [citado 2022 Feb 28]. Disponible en: <https://www.unicef.org/lac/media/27856/file/Calidad-del-aire-es-el-momento-de-actuar.pdf>
5. Chanel O, Perez L, Künzli N, Medina S, Aphekompok group. The hidden economic burden of air pollution-related morbidity: evidence from the Aphekompok project. *Eur J Health Econ.* 2016;17(9):1101–15. doi: 10.1007/s10198-015-0748-z
6. Marques Gomes MJ. Ambiente e pulmão. *J Pneumologia.* 2002;28(5):261–9. doi: 10.1590/S0102-35862002000500004
7. Organización Panamericana de la Salud, OPS. Calidad del aire. [Internet]. 2019 [citado 2022 Feb 28]. Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>
8. Calderón-Garcidueñas L, Calderón-Garcidueñas A, Torres-Jardón R, Avila-Ramírez J, Kulesza RJ, Angiulli AD. Air pollution and your brain: what do you need to know right now. *Prim Health Care Res Dev.* 2015;16(4):329–45. doi: 10.1017/S146342361400036X
9. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-PNUD. Objetivos de desarrollo sostenible [Internet]. 2015. Disponible en: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
10. 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. doi: 10.1016/j.neurol.2015.10.008
11. Rodríguez-Villamizar LA, Rojas-Roa NY, Blanco-Becerra LC, Herrera-Galindo VM, Fernández-Niño JA. Short-Term Effects of Air Pollution on Respiratory and Circulatory Morbidity in Colombia 2011–2014: A Multi-City, Time-Series Analysis. *Int J Environ Res Public Health.* 2018;15(8):1610. doi: 10.3390/ijerph15081610
12. Yang BY, Qian Z, Howard SW, Vaughn MG, Fan SJ, Liu KK, et al. Global association between ambient air pollution and blood pressure: A systematic review and meta-analysis. *Environ Pollut.* 2018;235:576–88. doi: 10.1016/j.envpol.2018.01.001

13. Korten I, Ramsey K, Latzin P. Air pollution during pregnancy and lung development in the child. *Paediatr Respir Rev*. 2017;21:38–46. doi: 10.1016/j.prrv.2016.08.008
14. Gouveia N, Junger WL, ESCALA investigators. Effects of air pollution on infant and children respiratory mortality in four large Latin-American cities. *Environ Pollut*. 2018;232:385–91. doi: 10.1016/j.envpol.2017.08.125
15. Gladka A, Rymaszewska J, Zatoński T. Impact of air pollution on depression and suicide. *Int J Occup Med Environ Health*. 2018;31(6):711–21. doi: 10.13075/ijomh.1896.01277
16. Li Z, Mao X, Liu Q, Song H, Ji Y, Xu D, et al. Long-term effect of exposure to ambient air pollution on the risk of active tuberculosis. *Int J Infect Dis*. 2019;87:177–84. doi: 10.1016/j.ijid.2019.07.027
17. Goldizen FC, Sly PD, Knibbs LD. Respiratory effects of air pollution on children. *Pediatr Pulmonol*. 2016;51(1):94–108. doi: 10.1002/ppul.23262
18. Rodríguez-Camargo LA, Sierra-Parada RJ, Blanco-Becerra LC. Análisis espacial de las concentraciones de PM_{2,5} en Bogotá según los valores de las guías de la calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud para enfermedades cardiopulmonares, 2014-2015. *Biomédica*. 2020;40(1):137–52. doi: 10.7705/biomedica.4719
19. Fiordelisi A, Piscitelli P, Trimarco B, Coscioni E, Iaccarino G, Sorriento D. The mechanisms of air pollution and particulate matter in cardiovascular diseases. *Heart Fail Rev*. mayo de 2017;22(3):337–47. doi: 10.1007/s10741-017-9606-7
20. Balmes JR, Fine JM, Sheppard D. Symptomatic bronchoconstriction after short-term inhalation of sulfur dioxide. *Am Rev Respir Dis*. 1987;136(5):1117–21. doi: 10.1164/ajrccm/136.5.1117
21. Kagawa J. Evaluation of biological significance of nitrogen oxides exposure. *Tokai J Exp Clin Med*. 1985;10(4):348–53. PMID: 3836516
22. Rastogi Sk, Gupta Bn, Husain T, Chandra H, Mathur N, Pangtey Bs, et al. A cross-sectional study of pulmonary function among workers exposed to multimetals in the glass bangle industry. *American journal of industrial medicine*. 1991;20(3). doi: 10.1002/ajim.4700200311
23. Kampa M, Castanas E. Human health effects of air pollution. *Environ Pollut*. 2008;151(2):362–7. doi: 10.1016/j.envpol.2007.06.012
24. Kuo CY, Wong RH, Lin JY, Lai JC, Lee H. Accumulation of chromium and nickel metals in lung tumors from lung cancer patients in Taiwan. *J Toxicol Environ Health A*. 2006;69(14):1337–44. doi: 10.1080/15287390500360398
25. Rodríguez-Villamizar LA, Rojas-Roa NY, Blanco-Becerra LC, Herrera-Galindo VM, Fernández-Niño JA. Short-Term Effects of Air Pollution on Respiratory and Circulatory Morbidity in Colombia 2011-2014: A Multi-City, Time-Series Analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(8):E1610. doi: 10.3390/ijerph15081610
26. Badman DG, Jaffé ER. Blood and Air Pollution; State of Knowledge and Research Needs. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 1996;114(2):205–8. doi: 10.1016/S0194-59989670166-3
27. Riediker M, Cascio WE, Griggs TR, Herbst MC, Bromberg PA, Neas L, et al. Particulate matter exposure in cars is associated with cardiovascular effects in healthy young men. *Am J Respir Crit Care Med*. 2004;169(8):934–40. doi: 10.1164/rccm.200310-1463OC
28. Vermeylen J, Nemmar A, Nemery B, Hoylaerts MF. Ambient air pollution and acute myocardial infarction. *J Thromb Haemost*. 2005;3(9):1955–61. doi: 10.1111/j.1538-7836.2005.01471.x
29. Huang YCT, Ghio AJ. Vascular effects of ambient pollutant particles and metals. *Curr Vasc Pharmacol*. 2006;4(3):199–203. doi: 10.2174/157016106777698351
30. Ewan KB, Pamphlett R. Increased inorganic mercury in spinal motor neurons following chelating agents. *Neurotoxicology*. 1996;17(2):343–9. PMID: 8856730
31. Ratnaike RN. Acute and chronic arsenic toxicity. *Postgraduate Medical Journal*. 2003;79(933):391–6. doi: 10.1136/pmj.79.933.391

32. Lasley SM, Green MC, Gilbert ME. Rat hippocampal NMDA receptor binding as a function of chronic lead exposure level. *Neurotoxicol Teratol.* 2001;23(2):185–9. doi: 10.1016/s0892-0362(01)00116-7
33. Lasley SM, Gilbert ME. Glutamatergic components underlying lead-induced impairments in hippocampal synaptic plasticity. *Neurotoxicology.* 2000;21(6):1057–68. PMID: 11233752
34. Thömke F, Jung D, Besser R, Röder R, Konietzko J, Hopf HC. Increased risk of sensory neuropathy in workers with chloracne after exposure to 2,3,7,8-polychlorinated dioxins and furans. *Acta Neurol Scand.* 1999;100(1):1–5. doi: 10.1111/j.1600-0404.1999.tb00716.x
35. Bellinger DC. Teratogen update: lead and pregnancy. *Birth Defects Res A Clin Mol Teratol.* 2005;73(6):409–20. doi: 10.1002/bdra.20127
36. Garza A, Vega R, Soto E. Cellular mechanisms of lead neurotoxicity. *Med Sci Monit.* 2006;12(3):RA57-65. PMID: 16501435
37. Wang SL, Lin CY, Guo YL, Lin LY, Chou WL, Chang LW. Infant exposure to polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and biphenyls (PCDD/Fs, PCBs)--correlation between prenatal and postnatal exposure. *Chemosphere.* 2004;54(10):1459–73. doi: 10.1016/j.chemosphere.2003.08.012
38. Schell LM, Gallo MV, Denham M, Ravenscroft J. Effects of pollution on human growth and development: an introduction. *J Physiol Anthropol.* 2006;25(1):103–12. doi: 10.2114/jpa2.25.103
39. Damek-Poprawa M, Sawicka-Kapusta K. Damage to the liver, kidney, and testis with reference to burden of heavy metals in yellow-necked mice from areas around steelworks and zinc smelters in Poland. *Toxicology.* 2003;186(1–2):1–10. doi: 10.1016/s0300-483x(02)00595-4
40. Loghman-Adham M. Renal effects of environmental and occupational lead exposure. *Environ Health Perspect.* 1997;105(9):928–38. doi: 10.1289/ehp.97105928
41. Boffetta P, Merler E, Vainio H. Carcinogenicity of mercury and mercury compounds. *Scand J Work Environ Health.* 1993;19(1):1–7. doi: 10.5271/sjweh.1510
42. Kimbrough RD, Carter CD, Liddle JA, Cline RE. Epidemiology and pathology of a tetrachlorodibenzodioxin poisoning episode. *Arch Environ Health.* 1977;32(2):77–86. doi: 10.1080/00039896.1977.10667259
43. Mandal PK. Dioxin: a review of its environmental effects and its aryl hydrocarbon receptor biology. *J Comp Physiol B.* 2005;175(4):221–30. doi: 10.1007/s00360-005-0483-3
44. Rajagopalan S, Al-Kindi SG, Brook RD. Air Pollution and Cardiovascular Disease: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol.* 2018;72(17):2054–70. doi: 10.1016/j.jacc.2018.07.099
45. Delfino RJ, Staimeer N, Tjoa T, Gillen D, Kleinman MT, Sioutas C, et al. Personal and Ambient Air Pollution Exposures and Lung Function Decrements in Children with Asthma. *Environ Health Perspect.* 2008;116(4):550–8. doi: 10.1289/ehp.10911
46. Organización Panamericana de la Salud. Salud, ambiente y desarrollo sostenible: hacia el futuro que queremos [Internet]. Washington, D.C.; 2013. Disponible en: <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2013/seminario-rio-20-spa.pdf>
47. Miller MR, Newby DE. Air pollution and cardiovascular disease: car sick. *Cardiovascular Research.* 2019 ;116(2):279–94. doi: 10.1093/cvr/cvz228