

**EFECTOS SOBRE LA SALUD
HUMANA DE LA EXPOSICIÓN AL
AIRE CONTAMINADO POR
PARTÍCULAS PM₁₀ Y PM_{2,5}**

Alumna: Valeria Felipe Brito

Tutoras: María de los Ángeles Arias Rodríguez

Cintia Hernández Sánchez

Departamento: Obstetricia y Ginecología, Pediatría, Medicina Preventiva
y Salud Pública, Toxicología, Medicina Legal y Forense y Parasitología

Área: Salud Pública

Curso: 2021/2022

ÍNDICE

1. RESUMEN/SUMMARY.....	2
2. INTRODUCCIÓN.....	3
3. JUSTIFICACIÓN.....	5
4. OBJETIVOS.....	5
5. MATERIAL Y MÉTODOS.....	5
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	6
6.1 FUENTES DE EMISIÓN Y COMPOSICIÓN.....	7
6.2 EFECTOS SOBRE LA SALUD.....	8
6.3 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL.....	10
7. CONCLUSIONES.....	12
8. BIBLIOGRAFÍA.....	13

ÍNDICE DE TABLAS

1. TABLA 1.....	3
2. TABLA 2.....	4
3. TABLA 3.....	11

ÍNDICE DE GRÁFICAS

1. GRÁFICA 1.....	6
-------------------	---

1. RESUMEN

Uno de los principales elementos de la contaminación del aire es la materia particulada, la cual se puede presentar diferentes estados de agregación, composición y tamaño. El objetivo de este estudio se basó en analizar los posibles efectos sobre la salud de la población ante la exposición a corto y largo plazo a partículas $PM_{2,5}$ y PM_{10} . Para elaborar este trabajo, se realizó una revisión bibliográfica utilizando la base de datos Medline a través del PubMed.

Los resultados obtenidos indican una relación entre la exposición a determinadas concentraciones de material particulado y el desarrollo de enfermedades de origen respiratorio y cardiovascular, fundamentalmente. Las principales fuentes de emisión son de origen humano, destacando el tráfico, la industria y la quema de combustible. Se considera necesario establecer una serie de medidas de prevención y control, así como asegurar el cumplimiento de los valores límite de las $PM_{2,5}$ y PM_{10} con el fin de mejorar la salud y calidad de vida de la población.

Palabras clave: Contaminación atmosférica, partículas finas, efectos sobre la salud

SUMMARY

One of the main elements of air pollution is particulate matter, which can be present in different states of aggregation, composition and size. The objective of this study was based on analyzing the possible effects on the health of the population due to short- and long-term exposure to $PM_{2.5}$ and PM_{10} particles. This project was performed by carrying out a bibliographic review using the Medline database through PubMed.

The results obtained indicate a relationship between exposure to certain concentrations of a particulate matter and the development of diseases of respiratory and cardiovascular origin, fundamentally. The main emission sources are of human origin, highlighting traffic, industry and fuel burning. It is considered necessary to establish a series of prevention and control measures, as well as to ensure compliance with the limit values for $PM_{2.5}$ and PM_{10} in order to improve the health and quality of life of the population.

Key words: Air pollution, fine particles, health effects

2. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica preocupa a nivel mundial debido a las repercusiones sobre la salud y el medioambiente. Este término se define en España, según la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera como «la presencia en la atmósfera de materias, sustancias o formas de energía que impliquen molestia grave, riesgo o daño para la seguridad o la salud de las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza» [1].

Los contaminantes atmosféricos pueden ser de origen natural, pero en su mayoría son de origen antropogénico. Las principales fuentes de emisión de origen humano, en orden de relevancia, son: el transporte, la producción de energía, la industria y las calefacciones domésticas, siendo el transporte el bloque de mayor peso ya que representa en torno a un 50% del total de emisiones, aunque estos datos pueden variar dependiendo de la zona geográfica, época del año, climatología, entre otros aspectos [2, 3, 4, 5].

Las condiciones meteorológicas influyen en la contaminación atmosférica, principalmente cuando existen condiciones de inversión térmica, que confiere estabilidad a la capa de aire inmediata al suelo, lo que dificulta la dispersión de los contaminantes inyectados por las distintas fuentes, lo que se traduce en el aumento de las concentraciones hasta niveles capaces de provocar los efectos perjudiciales que caracterizan los episodios agudos de contaminación atmosférica [2, 6, 7].

En relación a su estado, los contaminantes químicos se pueden dividir en gases y partículas y se catalogan como principales en función del volumen de sus emisiones, continuidad y universalidad [2].

Los gases atmosféricos más destacables se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales contaminantes atmosféricos gaseosos [2]

GASES	
Monóxido de carbono (CO)	Óxidos de azufre (SO _x)
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	Hidrocarburos y oxidantes fotoquímicos

El material particulado (PM) está formado por diversos componentes, entre los que destacan los sulfatos, el amoníaco, los nitratos, el cloruro de sodio, el hollín, los polvos minerales y el agua [8]. Del mismo modo, se presenta en diferentes fracciones de tamaño, las más relevantes serían las PM₁₀ y PM_{2,5} cuyo tamaño es inferior a 10 y 2,5 µm, respectivamente. Sus efectos sobre la salud pueden variar en función de su composición química y capacidad de penetración [9]. Por un lado, las partículas PM₁₀ son capaces de penetrar y depositarse en los pulmones, mientras que las partículas PM_{2,5} consiguen traspasar la barrera pulmonar e incorporarse al sistema sanguíneo [8].

Una exposición prolongada a este tipo de material favorece el desarrollo de enfermedades respiratorias y cardiovasculares [10]. La exposición a elevadas concentraciones de estas partículas, a corto y largo plazo, aumenta la morbilidad, mortalidad y repercute sobre la esperanza de vida, y es que, existe una correlación cuantitativa entre ambas [11].

No obstante, bajas concentraciones de estas partículas, también se ha relacionado con efectos negativos sobre la salud, por lo que organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS) han establecido límites para conseguir valores lo más inferiores posibles de estos materiales en la atmósfera (Tabla 2) [11]:

Tabla 2: Valores del material particulado fijado por las directrices de la WHO [11]

Materia particulada fina (PM _{2,5})		Materia particulada gruesa (PM ₁₀)	
Media anual	Media diaria	Media anual	Media diaria
5 µg/m ³	15 µg/m ³	15 µg/m ³	45 µg/m ³

Cabe destacar, que según la OMS alrededor de un 80% de las muertes que han resultado relacionadas con la materia particulada fina (PM_{2,5}) se podrían evitar si las cifras de contaminación actuales se redujeran e igualasen a las recomendadas [11].

En Europa y por tanto en España, en los últimos años se están haciendo grandes esfuerzos para mejorar la calidad del aire, sin embargo, principalmente cuando las condiciones climatológicas son desfavorables, los problemas de contaminación atmosférica persisten y los efectos sobre la población derivados de ella [12, 13, 14].

3. JUSTIFICACIÓN

La exposición al aire contaminado por material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) se relaciona con una repercusión negativa sobre la salud de la población, con un aumento de la morbimortalidad.

4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Conocer los riesgos y consecuencias de la contaminación atmosférica producida por partículas finas sobre la salud de la población.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el origen y composición de las partículas $PM_{2.5}$ y PM_{10} .
- Estudiar la repercusión de las partículas finas sobre la mortalidad y morbilidad de la población.
- Conocer las principales medidas de prevención y control de la contaminación ambiental.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

Para la elaboración de este trabajo se llevó a cabo una revisión bibliográfica basada en los estudios que relacionan la morbilidad y mortalidad de la población con la contaminación atmosférica causada por las partículas $PM_{2.5}$ y PM_{10} . Se ha consultado la base de datos Medline mediante PubMed, aplicando los siguientes criterios:

Criterios de inclusión: Artículos que se encontraban en la base de datos anteriormente citada, cuya fecha de publicación fuese desde 2012 hasta la actualidad y se pudiese consultar el texto completo, tanto en español como en inglés.

Criterios de exclusión: Se han descartado aquellos artículos que tras leer el resumen no resultaban ser relevantes para el trabajo, así como las cartas al editor, artículos a los que no se ha podido acceder al texto completo.

- Se emplearon los términos del Medical Subject Headings (MeSH), utilizando como filtros:
 - Fuentes de emisión y composición: PM2.5, PM10, source, composition
 - Efectos sobre la salud: PM2.5, PM10, health effects, exposure
 - Medidas de prevención y control: PM2.5, PM10, prevention, control

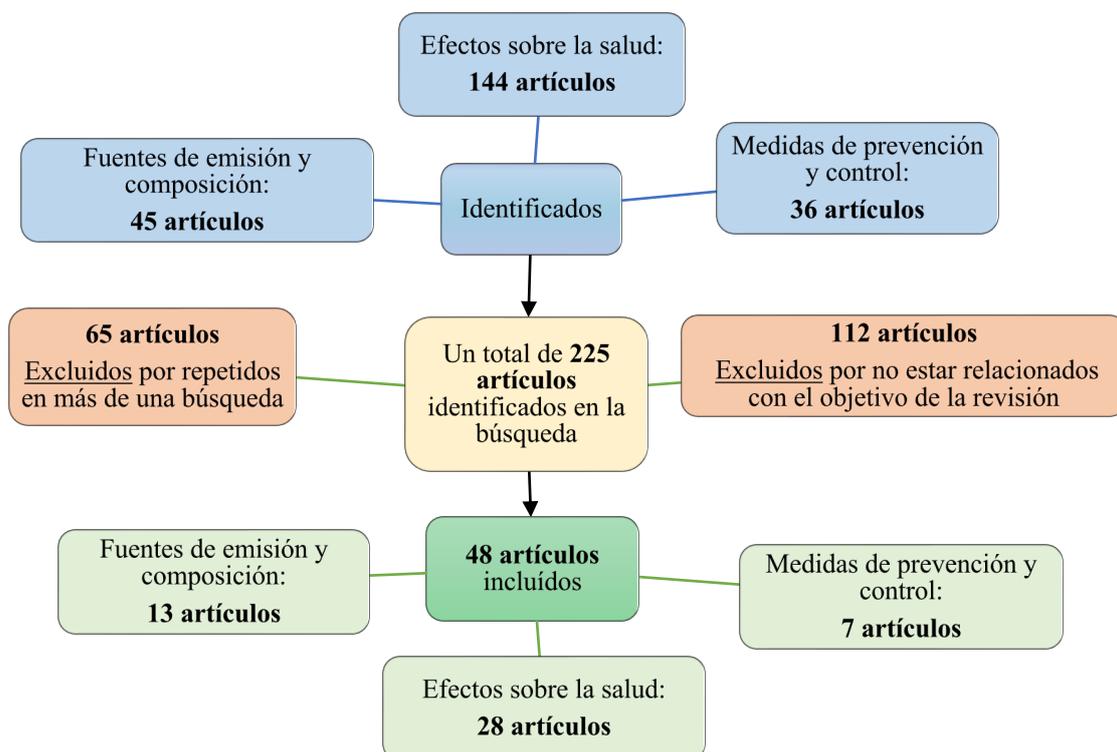
Así mismo, para el apartado de medidas de prevención y control se utilizaron las siguientes páginas web:

- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es>
- Organización Mundial de la Salud. Disponible en: <https://www.who.int/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Gráfica 1 se observan los resultados de la búsqueda bibliográfica. De un total de 225 artículos utilizamos 48 para este capítulo.

Gráfica 1. Resultados de la búsqueda bibliográfica de artículos



6.1 FUENTES DE EMISIÓN Y COMPOSICIÓN

El origen del material particulado se puede dividir en primario o secundario, según cómo se obtiene, en función de esto, la morfología y composición química de las partículas, puede variar [15, 16]. Los compuestos primarios, son emitidos a la atmósfera directamente. Las principales fuentes son de origen antropogénico, como el tráfico, la industria y la quema de combustible para uso doméstico, no obstante, también se dan causas naturales como el arrastre por viento de polvo, partículas marinas, erupciones volcánicas, etc. [17, 18]. Por otro lado, las partículas secundarias, se forman en la atmósfera a través de reacciones químicas mediadas por gases como el SO_2 , NO_x , NH_3 y compuestos orgánicos volátiles, entre otros [19]. Este grupo se subdivide en partículas inorgánicas y orgánicas [20].

Las principales actividades responsables de la emisión de material particulado son el tráfico y la quema de biomasa [21, 22]. Las emisiones del tráfico son predominantes en las zonas urbanas [23,24, 25]. Pueden surgir a partir de fuentes de escape, si están relacionadas con la quema de combustibles y de no escape, que se deben al desgaste de sistemas de frenos, llantas, etc. [15, 26].

Existen marcadores que ayudan a identificar el origen de las partículas [15], según el Estudio Europeo de Cohortes (ESCAPE), hay ciertos elementos que se han visto relacionados con determinadas acciones, por ejemplo, el cobre se asocia la abrasión de los frenos y neumáticos, mientras que el hierro con la de los frenos y además, con el polvo de la carretera. Por otro lado, elementos como el níquel y el vanadio se vinculan con el petróleo crudo y las emisiones del transporte marítimo, así como el K con la quema de biomasa. [22]. Además, para la quema de biomasa se emplea otro marcador específico, el levoglucosano [21].

En un estudio llevado a cabo en un pueblo de Cerdeña afectado por la quema de biomasa, se recogieron $\text{PM}_{2.5}$ durante el invierno y el verano, se detectaron altas concentraciones de levoglucosano, principalmente en la temporada de invierno, donde la quema de leña es mayor, se estimó que este marcador representaba en torno a un 13,7% del contenido de las $\text{PM}_{2.5}$. No obstante, la concentración del mismo durante el verano resultó insignificante [21]. Hay que tener en cuenta que el material particulado se puede ver condicionado por factores meteorológicos, los cuales pueden favorecer a difundir, diluir y acumular la contaminación del aire [27].

6.2 EFECTOS SOBRE LA SALUD

Desde la perspectiva de la salud humana, la exposición al material particulado ha sido relacionado con efectos negativos sobre la misma [28]. Estos componentes se asocian a un aumento de la morbimortalidad de la población [16], favoreciendo el desarrollo de enfermedades, principalmente, de origen respiratorio y cardiovascular [29, 30], siendo los niños, ancianos y embarazadas con antecedentes cardiopulmonares los más vulnerables [31].

Según el proyecto Aphekom, en el cual se evaluó los efectos sobre la salud de la contaminación del aire en Europa y lo que supondría reducir la exposición al material particulado, resultó tener un mayor impacto sobre la salud la exposición crónica a las $PM_{2.5}$ [32], ya que aunque existen una relación causal entre el aumento de la mortalidad y la exposición a valores elevados de PM_{10} y $PM_{2.5}$, para las $PM_{2.5}$ se mantiene esa relación incluso a niveles límite inferiores a los establecidos por la OMS, de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [9, 33].

Diversos estudios avalan la idea de que la exposición a corto y largo plazo, pueden desencadenar o complicar diversas patologías [34]. En el caso de la exposición aguda, hay estudios que la asocian con síntomas más graves en enfermedades del tracto respiratorio, insuficiencia cardíaca e inflamación pulmonar [33, 35], así como con un aumento de los ingresos hospitalarios y visitas a urgencias por episodios de asma y neumonía, entre otros [10, 36]. En el caso de la exposición a largo plazo a $PM_{2.5}$, según un estudio realizado en EEUU, se hallaron relaciones significativas con la mortalidad respiratoria y cardiovascular, EPOC, neumonía, así como con el cáncer de pulmón [37].

En relación a las afecciones respiratorias, las $PM_{2.5}$ son de pequeño diámetro, pero de gran superficie, lo que les permite transportar productos tóxicos mediante el flujo de aire hasta depositarse el tracto respiratorio, acumulándose y causando daño a otros órganos mediante la difusión de las mismas [33]. Un estudio realizado en Amman, Jordania, destacó la importancia de la fracción de deposición (DF) de las $PM_{2.5}$ y PM_{10} a nivel respiratorio, la cual va a depender del género y actividad del paciente, así como de la temporada, siendo mayor en primavera y otoño. Además, indicó que el mayor porcentaje de DF fue a nivel alveolar [38]. Esta acumulación de las partículas conlleva a una disminución de las defensas del paciente, lo que conlleva a adquirir con mayor facilidad infecciones de tipo respiratorio [39].

Por otro lado, se ha vinculado el cáncer de pulmón con la exposición al material particulado [40], este tipo de cáncer es la principal causa de muerte por cáncer [41]. Debido a las evidencias encontradas, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) clasificó a la materia particulada como cancerígena para el humano [42]. En Corea del Sur, se llevó a cabo un estudio con 87.608 sujetos seguidos desde 2007 hasta 2015, cuyo objetivo fue confirmar la exposición a largo plazo a PM_{10} y $PM_{2.5}$ y la mortalidad por 17 tipos de cáncer. Durante los 8 años de desarrollo, fallecieron 1487 individuos por cáncer, siendo el de pulmón el de mayor porcentaje, obteniendo las $PM_{2.5}$ un alto índice de riesgo (HR) para la mortalidad por cáncer de pulmón [43].

A su vez, estas partículas también han sido asociadas con el riesgo cardiovascular [44]. De acuerdo con un estudio realizado en la provincia de Hubei en China, la exposición a $PM_{2.5}$ y PM_{10} , fue relacionada con un aumento de la probabilidad de muerte por infarto de miocardio, la cual aumentaba en un 4,14 y 2,67%, respectivamente, por cada aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la exposición a las PM [45]. A su vez, otro estudio llevado a cabo en EEUU, afirma que la exposición crónica a las partículas finas está vinculada con la cardiopatía isquémica y la mortalidad por accidentes cerebrovasculares, y con el riesgo de sufrir accidentes cardiovasculares, incluso cuando la concentración de $PM_{2.5}$ está por debajo del límite establecido, que en el caso de EEUU es de $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [46].

A pesar de que las principales patologías asociadas a la exposición al material particulado son a nivel respiratorio y cardiovascular [47], también se han realizado investigaciones basadas en otras patologías, como la Diabetes Mellitus (DM), y es que se ha visto las $PM_{2.5}$ generan una inflamación sistémica, la cual de manera crónica puede jugar un papel importante en el desarrollo de la DM [48]. Además, ciertos estudios han evidenciado la relación entre las $PM_{2.5}$ alteraciones biológicas como la formación de citocinas y el equilibrio de la coagulación [49].

A su vez, la materia particulada es un medio de transporte para compuestos químicos y microbianos, siendo capaz de transportar virus, viviendo estos durante varias horas [50, 51]. En el caso del SARS-CoV-2, son diversos los estudios que demuestran una relación entre las $PM_{2.5}$ y la transmisión del virus, vinculando la cantidad de ARN del SARS-CoV-2 en las $PM_{2.5}$ con el número de contagios y los síntomas presentados [51, 52, 53].

6.3 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL

Evaluar y controlar la calidad del aire al que se expone la población es indispensable, principalmente por sus efectos sobre la salud, agravando patologías, favoreciendo la morbimortalidad y disminuyendo la calidad de vida [54, 55].

Una de las principales medidas de control que se pueden implantar es establecer unos valores límite y objetivo de los niveles de las partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ en condiciones ambientales para la protección de la salud, y es lo que está reflejado en España en el RD 102/2011 el cual establece para las PM_{10} un valor límite diario de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que no se podrá superar en más de 35 ocasiones al año, y un valor límite anual de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para las $PM_{2.5}$ existe un valor objetivo anual de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, así como unos valores límites anuales divididos en dos fases en función de la fecha de cumplimiento, en la fase I es de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en la fase II de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [56].

Además de establecer unos valores límites, se pretende alcanzar cifras inferiores con el fin de disminuir el riesgo de padecer enfermedades agudas y crónicas relacionadas con este tipo de contaminación, que se dan tanto en entornos rurales como urbanos [11]. Sin embargo, es en las áreas urbanas donde se concentran gran parte de la población, se estima que en torno a un 70% de la misma, lo que supone una mayor carga de emisiones en estas zonas [57].

Según la Evaluación de la Calidad del Aire en España 2020, en muchas ocasiones, los niveles de partículas PM_{10} medidos en España eran elevados debido a las intrusiones de las masas de aire africano, principalmente en las Islas Canarias, no obstante, se estableció un procedimiento para descontar dichas intrusiones, lo que permite obtener unos valores de los niveles partículas causados por las actividades humanas. En base a ello, para las partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el año 2020 no se superó el VLA en todo el país [58].

Estos valores positivos se pueden relacionar con el Plan Nacional de Calidad del Aire 2017-2019 en el cual se han desarrollado una serie de medidas (Tabla 3) [59], así como con la aprobación de la Orden TEC/351/2019, de 18 de marzo, por la que se aprueba el Índice Nacional de Calidad del Aire en España, con el que se informa sobre el estado de la calidad del aire en cada una de las estaciones distribuidas en el territorio nacional [60].

Tabla 3. Medidas del Plan Nacional de Calidad del Aire [59]

Medidas recogidas en el Plan Nacional de Calidad del Aire 2017-2019
Mejora de la información sobre la calidad del aire: Sensibilización, recomendaciones, app móvil, protocolos...
Mejoras en movilidad: Puntos de recarga para vehículos eléctricos, plan estratégico estatal de la bicicleta, accesibilidad transporte público vías periurbanas...
Investigación: Estudio en zonas con superaciones de valores
Mejoras en agricultura y ganadería que permitan reducir las emisiones de amoníaco
Medidas para el sector residencial: Fomento de la reducción de emisiones
Fiscalidad ambiental: Elaboración de grupo de trabajo para la revisión de la fiscalidad ambiental
Medidas para reducir emisiones en el sector industrial: Actualización y desarrollo de valores límite de emisiones, implantación de mejoras técnicas disponibles en las instalaciones industriales
Mejoras en transporte:
: Tráfico rodado: Fomento de vehículos de energías alternativas y eficientes, desarrollo reglamentario del etiquetado ambiental de los vehículos...
: Tráfico aéreo y aeropuertos: Reducción de las emisiones de las aeronaves, seguimiento de la optimización de los movimientos de rodaje de las aeronaves...
: Mejoras en puertos: Mejora de accesos, impulso al transporte ferroviario con origen o destino en puertos...
: Tráfico ferroviario: Redes y servicios ferroviarios para mercancías, fomento de uso de combustibles alternativos en el transporte ferroviario...

No obstante, según un estudio llevado a cabo en Barcelona, todavía las medidas de disminución del tráfico son insuficientes, se necesita una mayor reducción de la demanda de vehículos para cumplir con los estándares de la calidad del aire de la UE [61]. Para poder conseguir este objetivo, se debe fomentar el uso del transporte público como el transporte activo, es decir, en bicicleta o a pie, esto a su vez supondría una mejora en el estado de salud de la población debido a un aumento de la actividad física [62].

Cabe destacar que las medidas para mejorar la calidad del aire no solo se deben centrar en una disminución de las emisiones, sino en una visión global, que implique una serie de acciones adicionales para disminuir la contaminación de manera sostenible, valorando la rentabilidad, es decir, estudiando el descenso de las emisiones y los costes asociados [63]. Además, dichas medidas deben ser coherentes, se deben analizar las principales fuentes de emisión, a qué nivel se producen, es decir, si son a nivel local o implica una escala mayor, así como a capacidad de cumplir con los requisitos en un plazo acorde, con el fin de aplicar una política de reducción de emisiones adecuada [12].

7. CONCLUSIONES

1. El material particulado está formado por una mezcla heterogénea de componentes. Se presenta en diferentes fracciones de tamaño, siendo las más destacadas las $PM_{2,5}$ y PM_{10} . Sus efectos sobre la salud dependerán de la composición química y capacidad de penetración.
2. El origen de las $PM_{2,5}$ y PM_{10} puede ser primario o secundario, en función de si se emiten directamente a la atmósfera o se forman a partir de reacciones químicas con otros compuestos.
3. La exposición aguda a estas partículas se asocia con síntomas graves en enfermedades del tracto respiratorio, insuficiencia cardíaca e inflamación pulmonar, así como con un aumento de los ingresos hospitalarios y visitas a urgencias por episodios de asma y neumonía, entre otros.
4. La exposición crónica a largo plazo de elevadas concentraciones de materia particulada se relaciona con un aumento de la mortalidad y morbilidad de la población. Las principales patologías a las que se han vinculado las $PM_{2,5}$ y PM_{10} son de origen respiratorio y cardiovascular, destacando la asociación con el cáncer de pulmón.
5. Las medidas de prevención y control se basan en el cumplimiento de la legislación que establece valores límite y objetivos, con el fin disminuir la concentración en el aire de estas partículas, así como la implantación de medidas relacionadas con la mejora de la movilidad, transporte, información, investigación y control de emisiones.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera. Boletín Oficial del Estado, número 275, (17 de noviembre de 2007).
2. Arias A, Álvarez-Marante R, Contaminación atmosférica: En: Fernández-Crehuet et al. Medicina Preventiva y Salud Pública. Piedrola Gil.12a ed. Barcelona: Editorial Elsevier-Masson. 2016. pp.257-262.
3. Perrone MR, Becagli S, Garcia Orza JA, Vecchi R, Dinoi A, Udisti R, Cabello M. The impact of long-range-transport on PM1 and PM2.5 at a Central Mediterranean site. *Atmospheric Environment* 2013; 71: 176-186. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.02.006>.
4. Agudelo-Castañeda DM, Calesso Teixeira E. Seasonal changes, identification and source apportionment of PAH in PM1.0. *Atmospheric Environment* 2014; 96: 186-200. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.07.030>.
5. Godec R, Jakovljević I, Davila S, Šega K, Bešlić I, Rinkovec J, Pehnec G. Air pollution levels near crossroads with different traffic density and the estimation of health risk. *Environ Geochem Health*. 2021 Oct;43(10):3935-3952. doi: 10.1007/s10653-021-00879-1.
6. Trinh TT, Trinh TT, Le TT, Nguyen TDH, Tu BM. Temperature inversion and air pollution relationship, and its effects on human health in Hanoi City, Vietnam. *Environ Geochem Health*. 2019 Apr;41(2):929-937. doi: 10.1007/s10653-018-0190-0.
7. Wagner DR, Brandley DC. Exercise in Thermal Inversions: PM_{2.5} Air Pollution Effects on Pulmonary Function and Aerobic Performance. *Wilderness Environ Med*. 2020 Mar;31(1):16-22. doi: 10.1016/j.wem.2019.10.005.
8. World Health Organization. Ambient (outdoor) air pollution [Internet]. 2021 [cited 2022 Mar 12]. Available from: [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. Chen J, Hoek G. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int*. 2020 Oct;143:105974
10. Orellano P, Reynoso J, Quaranta N, Bardach A, Ciapponi A. Short-term exposure to particulate matter (PM10 and PM2.5), nitrogen dioxide (NO2), and ozone (O3) and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis. *Environ Int*. 2020;142:105876. doi:10.1016/j.envint.2020.105876

11. World Health Organization. New WHO Global Air Quality Guidelines aim to save millions of lives from air pollution [Internet]. 2022 [cited 2022 Mar 12]. Available from: <https://www.who.int/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>
12. Borge R, Lumbreras J, Pérez J, de la Paz D, Vedrenne M, de Andrés JM, Rodríguez ME. Emission inventories and modeling requirements for the development of air quality plans. Application to Madrid (Spain). *Sci Total Environ*. 2014 Jan 1;466-467:809-19. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.07.093.
13. Cyrus J, Wichmann HE, Ruckerl R, Peters A. Low emission zones in Germany: A reliable measure for keeping current air quality standards? *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*. 2018 Jun;61(6):645-655. doi: 10.1007/s00103-018-2741-z
14. Pisoni E, Guerreiro C, Lopez-Aparicio S, Guevara M, Tarrason L, et al. Supporting the improvement of air quality management practices: The "FAIRMODE pilot" activity. *J Environ Manage*. 2019 Sep 1;245:122-130. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.04.118.
15. Zalakeviciute R, Alexandrino K, Rybarczyk Y, Debut A, Vizueté K, Diaz M. Seasonal variations in PM10 inorganic composition in the Andean city. *Sci Rep*. 2020 Oct 12;10(1):17049. doi: 10.1038/s41598-020-72541-2
16. Ubilla C, Yohannessen K. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EFECTOS EN LA SALUD RESPIRATORIA EN EL NIÑO. *Revista Médica Clínica Las Condes* 2017;28(1):111-118.
17. Pan S, Qiu Y, Li M, Yang Z, Liang D. Recent Developments in the Determination of PM2.5 Chemical Composition. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2022 Apr 6:1–5. doi: 10.1007/s00128-022-03510-w
18. Balmes JR. Household air pollution from domestic combustion of solid fuels and health. *J Allergy Clin Immunol*. 2019 Jun;143(6):1979-1987. doi: 10.1016/j.jaci.2019.04.016
19. Harrison RM. Airborne particulate matter. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci*. 2020 Oct 30;378(2183):20190319. doi: 10.1098/rsta.2019.0319
20. Squizzato S, Cazzaro M, Innocente E, Visin F, Hopke PK, Rampazzo G. Urban air quality in a mid-size city — PM2.5 composition, sources and identification of impact areas: From local to long range contributions. *Atmos Res* 2017;186:51-62. doi: 10.1016/j.atmosres.2016.11.011

21. Atzei D, Fermo P, Vecchi R, Fantauzzi M, Comite V, Valli G, Cocco F, Rossi A. Composition and origin of PM_{2.5} in Mediterranean Countryside. *Environ Pollut*. 2019 Mar;246:294-302. doi: 10.1016/j.envpol.2018.12.012
22. Beelen R, Hoek G, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, Andersen ZJ, Weinmayr G, et al. . Natural-cause mortality and long-term exposure to particle components: an analysis of 19 European cohorts within the multi-center ESCAPE project. *Environ Health Perspect*. 2015 Jun;123(6):525-33. doi: 10.1289/ehp.1408095
23. Jandacka D, Durcanska D. Seasonal Variation, Chemical Composition, and PMF-Derived Sources Identification of Traffic-Related PM₁, PM_{2.5}, and PM_{2.5-10} in the Air Quality Management Region of Žilina, Slovakia. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Sep 28;18(19):10191. doi: 10.3390/ijerph181910191
24. Askariyeh MH, Venugopal M, Khreis H, Birt A, Zietsman J. Near-Road Traffic-Related Air Pollution: Resuspended PM_{2.5} from Highways and Arterials. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Apr 21;17(8):2851. doi: 10.3390/ijerph17082851
25. Okokon EO, Yli-Tuomi T, Siponen T, Tiittanen P, Turunen AW, Kangas L, Karppinen A, Kukkonen J, Lanki T. Heterogeneous Urban Exposures and Prevalent Hypertension in the Helsinki Capital Region, Finland. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Jan 29;18(3):1196. doi: 10.3390/ijerph18031196
26. Celo V, Yassine MM, Dabek-Zlotorzynska E. Insights into Elemental Composition and Sources of Fine and Coarse Particulate Matter in Dense Traffic Areas in Toronto and Vancouver, Canada. *Toxics*. 2021 Oct 14;9(10):264. doi: 10.3390/toxics9100264
27. Williams J, Petrik L, Wichmann J. PM_{2.5} chemical composition and geographical origin of air masses in Cape Town, South Africa. *Air Qual Atmos Health*. 2021;14(3):431-442. doi: 10.1007/s11869-020-00947-y
28. Li J, Hu Y, Liu L, Wang Q, Zeng J, Chen C. PM_{2.5} exposure perturbs lung microbiome and its metabolic profile in mice. *Sci Total Environ*. 2020 Jun 15;721:137432. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137432
29. Hoek G, Krishnan RM, Beelen R, Peters A, Ostro B, Brunekreef B, Kaufman JD. Long-term air pollution exposure and cardio- respiratory mortality: a review. *Environ Health*. 2013 May 28;12(1):43. doi: 10.1186/1476-069X-12-43.
30. Boldo E, Linares C, Aragonés N, Lumbreras J, Borge R, de la Paz D, et al. Air quality modeling and mortality impact of fine particles reduction policies in Spain. *Environ Res*. 2014 Jan;128:15-26. doi: 10.1016/j.envres.2013.10.009

31. Mukherjee A, Agrawal M. A Global Perspective of Fine Particulate Matter Pollution and Its Health Effects. *Rev Environ Contam Toxicol*. 2018;244:5-51. doi: 10.1007/398_2017_3
32. Pascal M, Corso M, Chanel O, Declercq C, Badaloni C, Cesaroni G, et al. Evaluación de los impactos en la salud pública de la contaminación del aire urbano en 25 ciudades europeas: resultados del proyecto Aphekom. *Sci Total Medio Ambiente*. 2013;449:390-400.
33. Xing YF, Xu YH, Shi MH, Lian YX. The impact of PM_{2.5} on the human respiratory system. *J Thorac Dis*. 2016 Jan;8(1):E69-74. doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19
34. Di Q, Dai L, Wang Y, Zanobetti A, Choirat C, Schwartz JD, Dominici F. Association of Short-term Exposure to Air Pollution With Mortality in Older Adults. *JAMA*. 2017 Dec 26;318(24):2446-2456. doi: 10.1001/jama.2017.17923
35. Yue W, Tong L, Liu X, Weng X, Chen X, Wang D, Dudley SC, Weir EK, Ding W, Lu Z, Xu Y, Chen Y. Short term Pm_{2.5} exposure caused a robust lung inflammation, vascular remodeling, and exacerbated transition from left ventricular failure to right ventricular hypertrophy. *Redox Biol*. 2019 Apr;22:101161. doi: 10.1016/j.redox.2019.10116
36. César AC, Nascimento LF, Mantovani KC, Pompeo Vieira LC. Material particulado fino estimado por modelo matemático e internações por pneumonia e asma em crianças [Fine particulate matter estimated by mathematical model and hospitalizations for pneumonia and asthma in children]. *Rev Paul Pediatr*. 2016 Jan-Mar;34(1):18-23. doi: 10.1016/j.rpped.2015.06.009
37. Pun VC, Kazemiparkouhi F, Manjourides J, Suh HH. Long-Term PM_{2.5} Exposure and Respiratory, Cancer, and Cardiovascular Mortality in Older US Adults. *Am J Epidemiol*. 2017 Oct 15;186(8):961-969. doi: 10.1093/aje/kwx166
38. Hussein T, Al-Abdallat A, Saleh SSA, Al-Kloub M. Estimación de la dosis estacional inhalada depositada de material particulado en el sistema respiratorio de personas urbanas que viven en una ciudad del Mediterráneo oriental. *Revista Internacional de Investigación Ambiental y Salud Pública*. 2022; 19(7):4303. doi: 10.3390/ijerph19074303
39. Yang L, Li C, Tang X. The Impact of PM_{2.5} on the Host Defense of Respiratory System. *Front Cell Dev Biol*. 2020 Mar 4;8:91. doi: 10.3389/fcell.2020.00091

40. Guo H, Li W, Wu J. Ambient PM_{2.5} and Annual Lung Cancer Incidence: A Nationwide Study in 295 Chinese Counties. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Feb 25;17(5):1481. doi: 10.3390/ijerph17051481
41. Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Laversanne M, Soerjomataram I, Jemal A, Bray F. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J Clin*. 2021 May;71(3):209-249. doi: 10.3322/caac.21660
42. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Outdoor air pollution. *IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risks Hum*. **2016**, 109, 9
43. Shin M, Kim OJ, Yang S, Choe SA, Kim SY. Diferentes riesgos de mortalidad de la exposición a largo plazo a partículas en diferentes sitios de cáncer. *Revista Internacional de Investigación Ambiental y Salud Pública* . 2022; 19(6):3180. doi:10.3390/ijerph19063180
44. Niu Z, Liu F, Yu H, Wu S, Xiang H. Association between exposure to ambient air pollution and hospital admission, incidence, and mortality of stroke: an updated systematic review and meta-analysis of more than 23 million participants. *Environ Health Prev Med*. 2021 Jan 26;26(1):15. doi: 10.1186/s12199-021-00937-1
45. Liu Y, Pan J, Fan C, Xu R, Wang Y, Xu C, Xie S, Zhang H, Cui X, Peng Z, Shi C, Zhang Y, Sun H, Zhou Y, Zhang L. Short-Term Exposure to Ambient Air Pollution and Mortality From Myocardial Infarction. *J Am Coll Cardiol*. 2021 Jan 26;77(3):271-281. doi: 10.1016/j.jacc.2020.11.033
46. Hayes RB, Lim C, Zhang Y, Cromar K, Shao Y, Reynolds HR, Silverman DT, Jones RR, Park Y, Jerrett M, Ahn J, Thurston GD. PM_{2.5} air pollution and cause-specific cardiovascular disease mortality. *Int J Epidemiol*. 2020 Feb 1;49(1):25-35. doi: 10.1093/ije/dyz114
47. Mannucci PM, Harari S, Franchini M. Novel evidence for a greater burden of ambient air pollution on cardiovascular disease. *Haematologica*. 2019 Dec;104(12):2349-2357. doi: 10.3324/haematol.2019.225086
48. Lee M, Ohde S. PM_{2.5} and Diabetes in the Japanese Population. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Jun 21;18(12):6653. doi: 10.3390/ijerph18126653
49. Li R, Zhou R, Zhang J. Function of PM_{2.5} in the pathogenesis of lung cancer and chronic airway inflammatory diseases. *Oncol Lett*. 2018 May;15(5):7506-7514. doi: 10.3892/ol.2018.8355

50. Karimi H, Nikaeen M, Gholipour S, Hatamzadeh M, Hassanzadeh A, Hajizadeh Y. PM_{2.5}-associated bacteria in ambient air: Is PM_{2.5} exposure associated with the acquisition of community-acquired staphylococcal infections? *J Environ Health Sci Eng.* 2020 Aug 22;18(2):1007-1013. doi: 10.1007/s40201-020-00522-8
51. Halos SH, Al-Dousari A, Anwer GR, Anwer AR. Impact of PM_{2.5} concentration, weather and population on COVID-19 morbidity and mortality in Baghdad and Kuwait cities. *Model Earth Syst Environ.* 2021 Oct 28:1-10. doi: 10.1007/s40808-021-01300-7
52. Nor NSM, Yip CW, Ibrahim N, Jaafar MH, Rashid ZZ, Mustafa N, Hamid HHA, Chandru K, Latif MT, Saw PE, Lin CY, Alhasa KM, Hashim JH, Nadzir MSM. Particulate matter (PM_{2.5}) as a potential SARS-CoV-2 carrier. *Sci Rep.* 2021 Jan 28;11(1):2508. doi: 10.1038/s41598-021-81935-9
53. Copat C, Cristaldi A, Fiore M, Grasso A, Zuccarello P, Signorelli SS, Conti GO, Ferrante M. The role of air pollution (PM and NO₂) in COVID-19 spread and lethality: A systematic review. *Environ Res.* 2020 Dec;191:110129. doi: 10.1016/j.envres.2020.110129
54. Kushta J, Georgiou GK, Proestos Y, Christoudias T, Thunis P, Savvides C, Papadopoulos C, Lelieveld J. Evaluación de los estándares de calidad del aire de la UE a través de modelos y la metodología de evaluación comparativa FAIRMODE. *Calidad del aire Atmos Health.* 2019;12(1):73-86. doi: 10.1007/s11869-018-0631-z.
55. Broome RA, Fann N, Cristina TJ, Fulcher C, Duc H, Morgan GG. The health benefits of reducing air pollution in Sydney, Australia. *Environ Res.* 2015 Nov;143(Pt A):19-25. doi: 10.1016/j.envres.2015.09.007
56. Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. (Boletín Oficial del Estado, número 25, de enero de 2011)
57. Costa S, Ferreira J, Silveira C, Costa C, Lopes D, Relvas H, Borrego C, Roebeling P, Miranda AI, Teixeira JP. Integrating health on air quality assessment--review report on health risks of two major European outdoor air pollutants: PM and NO₂. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev.* 2014;17(6):307-40. doi: 10.1080/10937404.2014.946164
58. Informe Evaluación de la Calidad del Aire en España 2020 [Internet]. 2021 [citado 26 abril 2022]. Disponible en:

- https://www.miteco.gob.es/images/es/informeevaluacioncalidadairespana2020_tcm30-529210.pdf
59. Plan Nacional de Calidad del AIRE 2017-2019 (Plan Aire II) [Internet]. 2017 [citado 2 mayo 2022]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/planaire2017-2019_tcm30-436347.pdf
 60. Orden TEC/351/2019, de 18 de marzo, por la que se aprueba el Índice Nacional de Calidad del Aire. (Boletín Oficial del Estado, número 75, de marzo de 2019)
 61. Rodríguez-Rey D, Guevara M, Linares MP, Casanovas J, Armengol JM, Benavides J, Soret A, Jorba O, Tena C, García-Pando CP. To what extent the traffic restriction policies applied in Barcelona city can improve its air quality? *Sci Total Environ.* 2022 Feb 10;807(Pt 2):150743. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150743
 62. Rodrigues PF, Alvim-Ferraz MCM, Martins FG, Saldiva P, Sá TH, Sousa SIV. Evaluación económica de la salud de un cambio al transporte activo. *Contaminación Ambiental.* 2020;258:113745. doi: 10.1016/j.envpol.2019.113745
 63. Miranda AI, Ferreira J, Silveira C, Relvas H, Duque L, Roebeling P, Lopes M, Costa S, Monteiro A, Gama C, Sá E, Borrego C, Teixeira JP. A cost-efficiency and health benefit approach to improve urban air quality. *Sci Total Environ.* 2016 Nov 1;569-570:342-351. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.06.102