

MORBIMORTALIDAD Y EXPOSICIÓN AL AIRE CONTAMINADO POR PARTÍCULAS FINAS

Alumna: Zuleima González Curbelo

Tutores: 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: 2019/2020



ÍNDICE

1. RESUMEN-SUMMARY.....	2
2. INTRODUCCIÓN.....	3
3. JUSTIFICACIÓN.....	5
4. OBJETIVOS.....	5
5. MATERIAL Y MÉTODOS.....	6
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	8
6.1 COMPOSICIÓN Y FUENTES.....	9
6.2 EFECTOS SOBRE LA SALUD.....	11
6.3 PREVENCIÓN Y CONTROL.....	14
7. CONCLUSIONES.....	19
8. BIBLIOGRAFÍA.....	20

ÍNDICE DE FIGURAS

1. FIGURA 1.....	3
2. FIGURA 2.....	4
3. FIGURA 3.....	8

ÍNDICE DE TABLAS

1. TABLA 1.....	14
2. TABLA 2.....	16
3. TABLA 3.....	18

1. RESUMEN

La contaminación del aire está compuesta por una mezcla de partículas sólidas y gaseosas, siendo las partículas finas en suspensión uno de los principales contaminantes del aire a nivel mundial. El objetivo del estudio fue conocer la importancia sanitaria de la contaminación atmosférica por partículas en suspensión de diámetro menor o igual a 2,5 ($PM_{\leq 2,5}$ ó $PM_{2,5}$). Se realizó una revisión bibliográfica de los estudios sobre partículas finas ($PM_{2,5}$) y sus efectos en la morbilidad y mortalidad de las poblaciones, utilizando la base de datos Medline a través del PubMed. Los estudios demuestran que las principales fuentes de contaminación fueron el transporte y la industria y que la contaminación por partículas finas supone un aumento de la morbilidad y mortalidad en la población. Se han demostrado asociaciones entre la exposición a $PM_{2,5}$ y enfermedades cardiovasculares, cerebrovasculares o problemas neurológicos, entre otros. Por ello, se deben establecer medidas para prevenir o reducir la contaminación atmosférica, y proponer una gestión adecuada sobre la calidad del aire para paliar los efectos adversos sobre la salud de la población expuesta a partículas finas.

SUMMARY

Air pollution is a mixture of solid particles and gases in the air. Fine particles in suspension are one of the main air pollutants in the world and represent the most serious health problem. The objective of this study was to know the health importance of air pollution by suspended particles with a diameter of less than 2.5 ($PM_{\leq 2,5}$ or $PM_{2.5}$). We carried out a bibliographic review of studies on fine particles ($PM_{2.5}$) and their effects on the morbidity and mortality of populations, using the Medline database through PubMed. The studies show that the main sources of pollution were transport and industry and that fine particle pollution leads to increased morbidity and mortality in the population. Associations have been shown between exposure to $PM_{2.5}$ and cardiovascular, cerebrovascular or neurological diseases, among others. Therefore, measures to prevent or reduce air pollution should be established and appropriate air quality management should be proposed to mitigate the adverse effects of exposure to fine particulate matter.

2. INTRODUCCIÓN:

La calidad del aire está considerada como uno de los grandes retos sanitarios a nivel mundial debido a la importancia de la contaminación del aire en la morbilidad humana. Aunque en las últimas décadas se ha producido en Europa una reducción sustancial de las emisiones de muchos contaminantes atmosféricos, lo que ha tenido repercusión en la mejora de la calidad del aire [1,2,3,4]; sin embargo, las concentraciones de algunos contaminantes atmosféricos siguen siendo demasiado altas y los problemas de calidad del aire persisten [5].

La contaminación atmosférica podemos definirla como “la presencia en el aire de sustancias o formas de energía que implican un importante riesgo medioambiental para la salud”. Cuando se habla de contaminación atmosférica, se hace referencia a la producida por el ser humano, que es la contaminación atmosférica de origen antropogénico, aunque también existen diversas fuentes naturales: alteración de la calidad del aire por transporte de partículas naturales (calima), actividad volcánica, geotérmica o sísmica, arrastre de polvo de zonas desérticas que puede contener esporas, polen y bacterias, incendios forestales y aerosoles marinos, entre otros [6].

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en la contaminación antropogénica hay que considerar tres procesos importantes [7]. (Figura 1):

Figura 1. Procesos que influyen en la contaminación atmosférica.

Los contaminantes emitidos por las distintas fuentes, que van a permanecer en la atmósfera durante un tiempo más o menos prolongado

Las condiciones meteorológicas que van a favorecer o no la permanencia de los contaminantes en la atmósfera

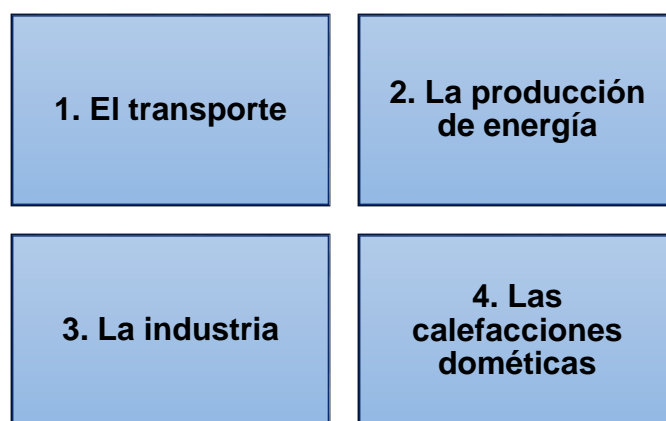
Los efectos de los contaminantes sobre la salud humana y medioambiental

Los contaminantes del aire forman un sistema altamente complejo y dinámico de miles de componentes orgánicos e inorgánicos de fuentes naturales y antropogénicas que se producen localmente o se introducen por transporte de largo alcance a lo largo de cientos de kilómetros y además están sujetos a condiciones meteorológicas locales [4].

Los contaminantes de naturaleza química presentes en la atmósfera pueden ser gases y partículas. Los contaminantes gaseosos, son gases y vapores de compuestos minerales u orgánicos, que pueden reaccionar para dar lugar a partículas. Algunos de estos gases son: anhídrido sulfuroso (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) o los hidrocarburos. Las partículas pueden ser sólidas o líquidas y de tamaño microscópico, entre las que se encuentran: a) el polvo, producido por la desintegración de materia sólida; b) el humo, de tamaño aproximado de 1 µm; c) las brumas, formadas por condensación de vapor, y d) los aerosoles, que incluyen partículas sólidas o líquidas.

En cuanto a las fuentes artificiales de emisión de contaminantes destacan: (Figura 2) [6].

Figura 2. Fuentes artificiales de contaminantes atmosféricos.



La cuantificación de la importancia de estas fuentes respecto al volumen global de emisiones es distinta según la fuente que se consulte, representando el transporte al menos el 50% del total [6].

Dentro de los contaminantes atmosféricos, las partículas en suspensión constituyen uno de los principales contaminantes del aire del mundo y las que representan el problema más grave para la salud. Se trata de una mezcla de

partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas que se encuentran suspendidas en el aire, entre las que destacan: los sulfatos, nitratos, amoníaco, hollín, polvos minerales y agua. Las partículas podemos diferenciarlas, según tengan de un diámetro de 10 micras o menos (PM10) o de un diámetro de 2,5 micras o menos (PM2.5) o partículas finas, siendo éstas últimas las más dañinas para la salud, ya que pueden atravesar la barrera pulmonar y penetrar en el sistema sanguíneo. Éstas últimas, que denominaremos como PM2.5, suelen estar compuestas principalmente por partículas secundarias formadas en la atmósfera a partir de un precursor gaseoso (NOx, SO2, COV, NH3, etc.) mediante procesos químicos o por reacciones en fase líquida. La exposición crónica a estas partículas puede dar lugar desde afecciones del sistema respiratorio, cardiovascular hasta la muerte prematura, afectando tanto a adultos como a niños [7,8,9,10,11,12].

Gran parte de la población europea vive en zonas urbanas, donde se superan los niveles de calidad del aire, siendo la contaminación por ozono, óxido de nitrógeno y partículas finas un grave riesgo para la salud. Para evaluar el estado actual de las partículas finas y sus efectos sobre la salud, se llevó a cabo un estudio en numerosos países del mundo, concluyendo que los niveles de PM 2,5 son varias veces más altos en los países asiáticos que en Europa y Estados Unidos, y que estas partículas finas presentes en la atmósfera reducen en más de ocho meses la esperanza de vida de la población en la Unión Europea, lo que representa un grave problema de salud pública [12,13].

3. JUSTIFICACIÓN:

La contaminación del aire, y especialmente con partículas finas en suspensión de bajo diámetro ($PM \leq 2,5$), se relaciona con un incremento de la morbilidad y mortalidad de las poblaciones.

4. OBJETIVOS

General:

Conocer la importancia, desde el punto de vista de salud pública, de la

contaminación atmosférica por PM2,5.

Específicos:

- ✚ Estudiar la composición y las principales fuentes de las partículas finas.
- ✚ Conocer la influencia de esta contaminación en la morbimortalidad de la población.
- ✚ Estudiar los principales mecanismos de prevención y control de este tipo de contaminación.
- ✚ Conocer la legislación aplicable en España en materia de contaminación ambiental.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó una revisión bibliográfica de los estudios sobre la contaminación atmosférica y sus repercusiones en la morbilidad y mortalidad de las poblaciones, y la base de datos consultada fue Medline a través del PubMed.

Los criterios de inclusión fueron:

- Artículos publicados desde 2010 a la actualidad.
- Idioma de los artículos en español e inglés.
- Artículos con texto completo.
- Especie de estudio: humanos.

Los criterios de exclusión fueron:

- Cartas al editor.
- Artículos repetidos.
- Artículos que no tuvieran el texto completo o en otros idiomas
- Artículos que al leer el resumen no eran de interés para el trabajo.

Se utilizaron los términos del Medical Subject Headings (MeSH), utilizando como filtros:

- Para conocer las fuentes de contaminación: source and particles PM2.5: 40 artículos.
- Para la composición de las partículas: composition and particles PM2.5: 33 artículos.

- Para efectos sobre la salud: health effects and particles PM 2.5: 183 artículos.
- Para prevención y control: prevention and control and particles PM 2.5: 136 artículos.

También para el apartado de fuentes y composición utilizamos la página del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/CALIDAD%20AIRE%20\(alta\)_tcm30-187886.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/CALIDAD%20AIRE%20(alta)_tcm30-187886.pdf)

Para estudiar los efectos sobre la salud y la prevención y control de la contaminación atmosférica utilizamos las páginas web del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/695/importancia.pdf> y la de la OMS: [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)

Para el objetivo de conocer la legislación aplicable en España en materia de contaminación atmosférica, se utilizó la página del Ministerio de Transición Ecológica. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/normativa/>.

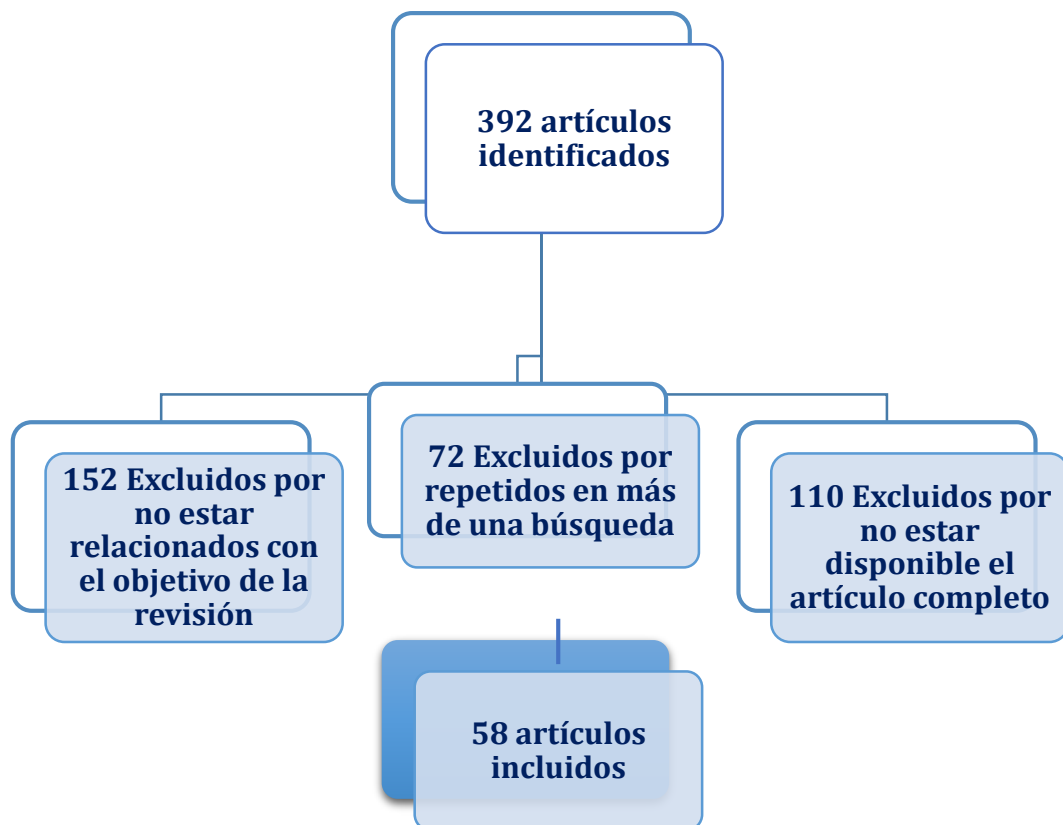
Palabras claves: salud, fuentes, composición, contaminación, partículas finas, PM 2,5.

Key words: health, sources, composition, pollution, fine particles, PM 2.5.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la búsqueda bibliográfica en PubMed se observan en la figura 3. De un total de 392 artículos, finalmente incluimos 58 artículos.

Figura 3. Resultados de la búsqueda de artículos



6.1 COMPOSICIÓN Y FUENTES

La materia particulada es una mezcla heterogénea de sustancias que varía en su composición química en relación con las fuentes de las que proceden, principalmente el tráfico, la industria y los procesos de combustión y en su mayoría son formadas en la atmósfera a partir de contaminantes primarios mediante procesos químicos o por reacciones en fase líquida. Además estas partículas de menor tamaño están compuestas por elementos que son más tóxicos (como metales pesados y compuestos orgánicos) que las partículas de mayor tamaño [14]. Están compuestas principalmente por hollín, procedente de procesos de combustión -como el carbón o motores diésel- además de aerosoles secundarios inorgánicos (nitratos, sulfatos) y gran cantidad de compuestos orgánicos de origen secundario [15].

En el Estudio Europeo de Cohortes (ESCAPE), realizado para conocer los efectos de la contaminación del aire en las ciudades de Europa, se observó que predominaba los compuestos de cobre, el hierro y el zinc principalmente para las emisiones del tráfico; el azufre por el transporte a larga distancia; el níquel y el vanadio por la quema mixta de petróleo/industria; el silicio por el material de la corteza terrestre; y el potasio por la quema de biomasa, y que además estos elementos podrían tener múltiples fuentes [14,16].

Diversos estudios realizados en Italia recogieron partículas PM 2,5, durante el invierno y el verano, utilizando el levoglucosano como trazador específico de las emisiones de la quema de biomasa [17,18,19,20]. En invierno la concentración media de levoglucosano fue superior a la del verano, siendo ésta insignificante. Las concentraciones medias de levoglucosano durante el período frío fueron superiores a las encontradas en otros sitios urbanos europeos. Según los autores, este resultado puede indicar una gran influencia de las combustiones de biomasa en la contaminación por partículas, estimando que el 65% de PM_{2,5} se debe a la quema de madera.

En un estudio realizado en una comunidad de EE.UU durante los años 2009-2013, en las temporadas de otoño, invierno y primavera, recolectaron muestras de partículas PM 2,5 con el fin de determinar las posibles fuentes de

contaminación [21]. Se vio que las principales fuentes identificadas en las tres estaciones fueron contaminantes procedentes del tráfico de vehículos, de quema de biomasa, polvo del suelo y aerosoles marinos, así como distintos contaminantes secundarios, encontrando como principales fuentes el tráfico y las industrias [21,22].

Diversos estudios analizaron las características de la variación día-noche del carbono orgánico (OC) y del carbono elemental (EC) en partículas finas atmosféricas (PM_{2,5}) recogidas durante el invierno de 2009 y la primavera de 2010 en la ciudad de Taiyuan, y analizaron las fuentes de materiales carbonosos de PM_{2,5} [23,24,25,26]. Los resultados mostraron que las concentraciones medias de PM_{2,5}, los coeficientes OC, EC y el promedio OC/EC eran todos más altos durante el invierno que durante la primavera. Otros estudios determinaron que el nivel era más alto en la noche que en el día durante el invierno, mientras que más alto en el día que en la noche durante la primavera. Esto se explicó por el hecho de que el invierno es una "temporada de calefacción", especialmente por la noche, la emisión de partículas carbonosas se incrementó debido al aumento de la combustión de carbón y biomasa y el alto OC/EC fue causado por el aumento de la emisión de OC ya que la baja temperatura y la débil radiación solar no eran favorables para la formación de Carbono Orgánico Secundario (SOC) [27]. Las mayores concentraciones de PM_{2,5}, OC y EC en el día que en la noche durante la primavera podrían deberse a más polvo durante el día debido a la mayor velocidad del viento y a la menor humedad relativa, y la mayor OC/EC en el día podría deberse a una mayor temperatura y a una mayor radiación solar que eran favorables para la formación de SOC [28]. En comparación con otras ciudades de China, Taiyuan mostró altas concentraciones de PM_{2,5}, OC y EC, lo que indica una grave contaminación de aerosoles carbonosos que puede contribuir significativamente a la formación de polvo [29,30].

Otros estudios mostraron que la mayor concentración de PM_{2,5} durante el episodio de neblina en Kuala Lumpur fue cinco veces superior a las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) [31,32,33,34,35]. La fuente predominante fue la quema de aerosoles inorgánicos secundarios y de biomasa, en la que indican la importancia de los incendios en Sumatra (Indonesia) [36],

que contribuyen a la contaminación del aire y a la escasa visibilidad en las regiones urbanas [37].

Las bacterias y los hongos son los principales microorganismos presentes en el aire en forma de partículas finas (PM_{2,5}) y tienen un impacto significativo en la salud humana [38,39,40,41]. Se llevó a cabo un estudio en Xi'an (China) [42] y otro en Beijing [43,44] que utilizaron un método de secuenciación de alto rendimiento para explorar las bacterias patógenas oportunistas transmitidas por el aire durante el otoño y el invierno. Los resultados mostraron que se encontraron significativamente más bacterias patógenas oportunistas en invierno que en otoño, y más partículas finas ($\leq 2,5 \mu\text{m}$) que PM₁₀ ($\leq 10 \mu\text{m}$) [45]. Otros estudios se realizaron para estudiar las variaciones de las comunidades de bacterias patógenas oportunistas en diferentes estaciones, destacando también un aumento en invierno [4,35,42,43].

Los niveles de PM_{2,5} son normalmente varias veces más altos en los países asiáticos que en Europa y EE.UU, por eso la mayoría de estudios que existen son realizados en dichos países, esto es debido a que en general presentan mayor nivel de contaminación y mayor riesgo para la salud [12,13].

6.2 EFECTOS SOBRE LA SALUD

Diversos estudios han demostrado que la exposición a estos contaminantes atmosféricos puede inducir grandes impactos adversos en la salud humana, pues está asociada con un incremento en la morbimortalidad de la población expuesta, siendo los principales grupos de riesgo los niños, ancianos y personas con patologías respiratorias y/o cardiacos. Estas partículas, por su tamaño son 100% respirables y llegan profundamente a los pulmones, penetrando en el aparato respiratorio y depositándose en los alvéolos pulmonares, incluso pudiendo llegar al torrente sanguíneo [13,30]. Un estudio realizado en Corea del Sur, demostró que la mortalidad era más elevada en ciudades con una elevada concentración de estas partículas, considerando como más relacionadas con eventos fatales respiratorios y cardiovasculares a las compuestas por níquel y vanadio, cuya fuente principal era el tráfico [46].

El último informe de la carga global mundial de enfermedad indicó que la exposición a partículas finas al aire libre era el quinto factor de riesgo de muerte en el mundo, representando 4,2 millones de muertes y > 103 millones de años de vida perdidos ajustados por discapacidad [47]. La contaminación del aire puede dañar de manera aguda, generalmente se manifiesta por síntomas respiratorios o cardíacos, así como de manera crónica, lo que puede afectar a todos los órganos del cuerpo, pudiendo causar, complicar o exacerbar muchas afecciones. El daño tisular puede resultar directamente de la toxicidad de los contaminantes, porque las partículas finas y ultrafinas pueden acceder a los órganos o indirectamente a través de procesos inflamatorios sistémicos. La susceptibilidad se debe en parte a la regulación genética y epigenética. Aunque la contaminación del aire afecta a personas de todas las regiones, edades y grupos sociales, es probable que cause una mayor enfermedad en aquellos con una gran exposición y mayor susceptibilidad. Las personas son más vulnerables a la contaminación del aire si tienen otras enfermedades o menos apoyo social. Se producen efectos nocivos en una dosis continua e incluso a niveles inferiores al estándar de calidad del aire [47].

La OMS indica que diversos estudios clínicos y epidemiológicos demuestran que la exposición a corto y largo plazo a la contaminación atmosférica aumenta la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares [7].

En Europa, el estudio más importante que se ha hecho es el European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE) que investigó la asociación entre la mortalidad por causas naturales y la exposición a largo plazo de la población a varios contaminantes atmosféricos [48]. Utilizaron los datos de 22 cohortes europeas con una población total de estudio de 367.251 participantes y con un promedio de seguimiento de 13,9 años. La exposición a largo plazo a la contaminación atmosférica por partículas finas se asoció con una mayor mortalidad, incluso dentro de rangos de concentración muy inferiores al actual valor límite medio anual europeo [14,48].

Con respecto a problemas en el sistema respiratorio, el proyecto ESCAPE encontró evidencia consistente de una asociación entre la contaminación del aire

con partículas finas y la neumonía en la primera infancia [49]. Otros estudios indican que contribuyen al aumento de enfermedades respiratorias agudas como asma, broncoespasmos, crisis respiratorias y bronquitis aguda, exacerbación de enfermedad obstructiva crónica (EPOC), lo que ocasiona un aumento en la necesidad de atención sanitaria en urgencias de niños y adultos, principalmente cuando existen episodios agudos de contaminación [50,51,52,53,54,55]. Con la exposición ambiental a largo plazo, se relaciona, además de bronquitis, asma, EPOC, con cáncer de pulmón [56,57,58].

Se ha demostrado la asociación entre las partículas finas y la incidencia de eventos cerebrovasculares en Europa [59]. Otro estudio muestra que el riesgo de accidente cerebrovascular en los países muy contaminados es significativamente mayor que el de los países ligeramente contaminados. La exposición a largo plazo se asocia con la incidencia de eventos coronarios, y esta asociación persiste a niveles de exposición inferiores a los valores límites europeos actuales [60]. Otros efectos que pueden causar las partículas al ingresar al sistema sanguíneo son incrementar el riesgo de una embolia o un infarto, o bien acelerar la aterosclerosis cuando exista una exposición crónica a estos contaminantes [61].

Con relación a otras enfermedades crónicas, la exposición a partículas finas aumenta el riesgo de diabetes y de mortalidad por todas las causas [62]. También se ha relacionado con la demencia, la enfermedad de Alzheimer, el Trastorno del Espectro Autista (TEA) y la enfermedad de Parkinson [62,63,64].

Las PM 2,5 sobre la piel inducen estrés oxidativo y alteran otras funciones fundamentales, como la diferenciación celular, la descamación de la piel y la apoptosis. Es por ello que diversos autores indican que es probable que puedan conducir a un envejecimiento acelerado de la piel [65,66].

Por último, destacar que la exposición a los contaminantes del aire ambiente y al tráfico durante el embarazo se asocia con un crecimiento fetal restringido. Estos casos de bajo peso al nacer podrían evitarse en Europa si se redujera la contaminación atmosférica urbana [67].

6.3 PREVENCIÓN Y CONTROL

Debido al aumento de la industrialización y del incremento de las fuentes de contaminantes, la contaminación del aire se ha convertido en un problema de salud pública fundamental que hay que resolver [68,69].

Según los informes de la OMS, mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma [7].

Se promueve el ciclismo y el senderismo como medios de transporte que pueden contribuir a la reducción de la contaminación del tráfico en las zonas urbanas. Sin embargo, los ciclistas y los peatones pueden estar expuestos a altas concentraciones de contaminantes atmosféricos debido a su proximidad a las emisiones de los vehículos. Los respiradores con máscara comercial se podrían utilizar como medida de protección individual contra la contaminación por partículas [70]. No obstante, muchas de éstas no proporcionan una protección adecuada, principalmente debido a un mal ajuste facial [71].

Las medidas para prevenir, vigilar y reducir la contaminación atmosférica son fundamentalmente las siguientes: ubicación de las fuentes de contaminación, elección de combustibles, depuración de partículas, dispersión, sustitución y legislación. En la Tabla se observan las principales medidas [6].

Tabla 1. Medidas para prevenir, vigilar y reducir la contaminación atmosférica.

Ubicación de las fuentes	Va a depender de: naturaleza de los contaminantes; condiciones meteorológicas; calidad del ambiente en la zona; posibilidades de control; efectos potenciales sobre la zona.
---------------------------------	--

Elección de combustibles	El uso limitado que tienen en la actualidad los combustibles gaseosos no contaminantes obliga a seleccionar de forma racional los combustibles sólidos y líquidos, según razones de tipo económico, industrial, ambiental, etc.
Depuración partículas y gases	Los equipos más utilizados son: -depuradores por vía húmeda, -incineradores catalíticos adsorbentes, -catalizadores, -ciclones y precipitadores electrostáticos.
Dispersión	La dispersión se basa en el aprovechamiento de los fenómenos meteorológicos de difusión para diluir los contaminantes.
Sustitución	Cambiar un proceso tecnológico determinado por otro que produzca menor contaminación.

Por último, la existencia de una *normativa legal* es indispensable para poder adoptar medidas en el control de la contaminación atmosférica. Numerosos países, entre ellos España, han desarrollado una legislación específica, que, en el caso de los países de la Unión Europea, ha ido ampliándose y uniformándose a lo largo de los últimos años [6].

En la Tabla 2 se observa la legislación aplicable en contaminación y calidad del aire en España, tanto por convenios internacionales, como normativa europea y española.

Tabla 2. Normativa relacionada con la calidad y contaminación del aire.

Convenios internacionales	Normativa europea	Normativa española
<p>Recopilación de los convenios internacionales firmados por España en materia de calidad del aire.</p>	<p>La normativa europea sobre calidad del aire actualmente en vigor viene representada por las siguientes normas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Directiva 2008/50/CE</u> del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. • <u>Directiva 2004/107/CE</u> del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente. • <u>Directiva 2015/1480/CE</u>, de la Comisión, de 28 de agosto de 2015 por la que se modifican varios anexos de las Directivas 	<p>La legislación española sobre calidad del aire actualmente en vigor viene representada por las siguientes normas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Ley 34/2007</u>, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera. • <u>Real Decreto 102/2011</u>, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. <p>Este real decreto fue modificado por el <u>Real Decreto 678/2014</u> para modificar los objetivos de calidad del sulfuro de carbono establecidos en la disposición transitoria única, y por el <u>Real Decreto 39/2017</u>, para transponer a nuestro ordenamiento jurídico la <u>Directiva 2015/1480</u>, que establece normas relativas a los métodos de</p>

	<p>2004/107/CE y 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en los que se establecen las normas relativas a los métodos de referencia, la validación de datos y la ubicación de los puntos de muestreo para la evaluación de la calidad del aire ambiente.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Con fecha de 12 diciembre de 2011 se aprobó la <u>Decisión 2011/850/UE</u>, relativa al intercambio recíproco de información y la notificación sobre la calidad del aire ambiente a la Comisión europea, establece que los Estados miembros facilitarán la información sobre el sistema de evaluación que debe aplicarse en el año civil siguiente respecto a cada contaminante en zonas y aglomeraciones. 	<p>referencia, validación de datos y ubicación de los puntos de medición para la evaluación de la calidad del aire ambiente, e incorporar los nuevos requisitos de intercambio de información establecidos en la Decisión 2011/850/UE. Además, este último real decreto prevé la aprobación de un Índice Nacional de Calidad del Aire que permita informar a la ciudadanía, de una manera clara y homogénea en todo el país, sobre la calidad del aire que se respira en cada momento.</p>
--	---	---

La mayoría de las fuentes de contaminación del aire exterior están más allá del control de las personas, y requieren medidas por parte de las ciudades, así como de las instancias normativas nacionales e internacionales en sectores como transporte, gestión de residuos energéticos, construcción y agricultura [7]. Se ha demostrado que en ciudades donde se han realizado limitaciones del tráfico la contaminación atmosférica y por tanto los problemas derivados han disminuido [46]. Existen numerosos ejemplos de políticas fructíferas relativas a los sectores de transporte, planificación urbana, generación de electricidad e industria, que permiten reducir la contaminación del aire (Tabla 3) [7].

Tabla 3. Ejemplos de políticas fructíferas para reducir la contaminación del aire.

Industria	Utilización de tecnologías limpias que reduzcan las emisiones de chimeneas industriales.
Energía	Garantizar el acceso a soluciones asequibles de energía doméstica limpia para cocinar, calentar y alumbrar.
Transporte	Priorización del transporte urbano rápido, las sendas peatonales y de bicicletas en las ciudades; utilización de vehículos y combustibles de bajas emisiones.
Planificación urbana	Mejoramiento de la eficiencia energética de los edificios y concentración de las ciudades para lograr una mayor eficiencia.
Generación de electricidad	Aumento del uso de combustibles de bajas emisiones y fuentes de energía renovable sin combustión (solar, eólica o hidroeléctrica).
Gestión de desechos municipales y agrícolas	Estrategias de reducción, separación, reciclado y reutilización o reelaboración de desechos.

7. CONCLUSIONES

1. La composición de las partículas en suspensión de peso molecular igual o menor a 2,5 micras (PM_{2,5}) es variable, y suelen estar constituidas por contaminantes secundarios formados en la atmósfera a partir de la inyección de contaminantes primarios producidos por fuentes como el transporte y la industria, entre otros.
2. La contaminación por partículas finas se relaciona con un aumento de la mortalidad y la morbilidad. Los efectos sobre la salud de la población pueden ser agudos y crónicos, dependiendo del tiempo de exposición y de su concentración en la atmósfera.
3. Las partículas finas incrementan enfermedades respiratorias agudas como asma, bronquitis aguda y enfermedad pulmonar obstructiva crónica lo que ocasiona un aumento en la necesidad de atención sanitaria urgente de niños y adultos, principalmente cuando existen episodios agudos de contaminación. La exposición ambiental a largo plazo, se relaciona con el cáncer de pulmón.
4. Se ha demostrado la asociación entre exposición a partículas finas y las enfermedades cardiovasculares. La exposición a largo plazo puede producir un aumento del riesgo de sufrir eventos cerebrovasculares y coronarios, incluso a concentraciones inferiores a los valores límites marcados por la legislación europea y mundial.
5. Las partículas finas en la atmósfera se han relacionado con otras enfermedades crónicas como diabetes y trastornos neurológicos, problemas de la piel y con el envejecimiento.
6. Las medidas para prevenir, vigilar y reducir la contaminación atmosférica principales son ubicación de las fuentes de contaminación, elección de combustibles, depuración de partículas, dispersión de contaminantes, sustitución de tecnologías a otras menos contaminantes y legislación.
7. Se necesita una planificación y gestión adecuada relativa a los sectores de transporte, planificación urbana, generación de electricidad e industria, para mitigar los efectos adversos de la población a la exposición de PM_{2,5}.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Kelly F, Armstrong B, Atkinson R, Anderson HR, Barratt B, Beevers S, Cook D, Green D, Derwent D, Mudway I, Wilkinson P; HEI Health Review Committee. The London low emission zone baseline study. Res Rep Health Eff Inst. 2011 Nov;(163):3-79
2. Vicente AB, Sanfeliu T, Jordan MM. Assesment of PM10 pollution episodes in a ceramic cluster (NE Spain): proposal of a new quality index for PM10, As, Cd, Ni and Pb. J Environ Manage. 2012 Oct 15;108:92-101. doi: 10.1016/j.jenvman.2012.04.032
3. 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.
4. Schulz H, Karrasch S, Bölke G, Cyrus J, Hornberg C, Pickford R, Schneider A, Witt C, Hoffmann B. Breathing: 2019 Jun;73(6):347-373. doi: 10.1055/a-0895-6494
5. Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar social. Recuperado de: <https://www.mscbs.gob.es/ca/ciudadanos/saludAmbLaboral/medioAmbiente/calidadAire.htm> Acceso: 7 de febrero de 2020.
6. 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.
7. World Health Organization. Calidad del aire y salud. 2018. Recuperado 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) Acceso: 7 de febrero de 2020.
8. Xing Ambient Air Pollution and Health - Part II. Pneumologie YF, Xu YH, Shi MH, Lian YX. The impact of PM2.5 on the human respiratory system. J Thorac Dis. 2016 Jan;8(1):E69-74. doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19.
9. Nhung NTT, Amini H, Schindler C2, Kutlar Joss M2, Dien TM3, Probst-Hensch N2, Perez L2, Künzli N2. Short-term association between ambient air pollution and pneumonia in children: A systematic review

- and meta-analysis of time-series and case-crossover studies. *Environ Pollut.* 2017 Nov;230:1000-1008. doi: 10.1016/j.envpol.2017.07.063.
10. Yang BY, Qian Z, Howard SW, Vaughn MG, Fan SJ, Liu KK, Dong GH. Global association between ambient air pollution and blood pressure: A systematic review and meta-analysis. *Environ Pollut.* 2018 Apr;235:576-588. doi: 10.1016/j.envpol.2018.01.001.
 11. Liu F, Chen G, Huo W, Wang C, Liu S, Li N, Mao S, Hou Y, Lu Y, Xiang H. Associations between long-term exposure to ambient air pollution and risk of type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. *Environ Pollut.* 2019 Sep;252(Pt B):1235-1245. doi: 10.1016/j.envpol.2019.06.033.
 12. Agencia Europea de Medio Ambiente. Contaminación atmosférica. (2017, Octubre 9). Recuperado de <https://www.eea.europa.eu/es/themes/air/intro> Acceso: 25 de febrero de 2020.
 13. Mukherjee A, Agrawal M. (2018). A Global Perspective of Fine Particulate Matter Pollution and Its Health Effects. *Rev Environ Contam Toxicol*, 244, 5-51. doi: 10.1007/398_2017_3.
 14. Beelen R, Hoek G, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, Andersen ZJ, Weinmayr G. 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.
 15. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2012; CSIC, 2012. Recuperado de: [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/CALIDAD%20AIRE%20\(alta\)_tcm30-187886.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/CALIDAD%20AIRE%20(alta)_tcm30-187886.pdf) Acceso: 27 de febrero de 2020.
 16. Rob Beelen, Gerard Hoek, Ole Raaschou-Nielsen, Massimo Stafoggia, Zorana Jovanovic Andersen, Gudrun Weinmayr 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):

525–533. doi: 10.1289/ehp.1408095.

17. 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.
18. Benetello F, Squizzato S, Hofer A, Masiol M, Khan MB, Piazzalunga A, Fermo P, Formenton GM, Rampazzo G, Pavoni B. Estimation of local and external contributions of biomass burning to PM_{2.5} in an industrial zone included in a large urban settlement. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2017 Jan; 24(2):2100-2115. doi: 10.1007/s11356-016-7987-0.
19. Perrone MG, Larsen BR, Ferrero L, Sangiorgi G, De Gennaro G, Udisti R, Zangrando R, Gambaro A, Bolzacchini E. Sources of high PM_{2.5} concentrations in Milan, Northern Italy: molecular marker data and CMB modelling. *Sci Total Environ*. 2012 Jan 1;414:343-55. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.11.026.
20. Pietrogrande MC, Bacco D, Ferrari S, Ricciardelli I, Scotto F, Trentini A, Visentin M. Characteristics and major sources of carbonaceous aerosols in PM_{2.5} in Emilia Romagna Region (Northern Italy) from four-year observations. *Sci Total Environ*. 2016 May 15;553:172-183. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.02.074.
21. Carrion-Matta A, Kang CM, Gaffin JM, Hauptman M, Phipatanakul W, Koutrakis P, Gold DR. Classroom indoor PM_{2.5} sources and exposures in inner-city schools. *Environ Int*. 2019 Oct;131:104968. doi: 10.1016/j.envint.2019.104968.
22. Othman M, Latif MT, Matsumi Y. The exposure of children to PM_{2.5} and dust in indoor and outdoor school classrooms in Kuala Lumpur City Centre. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2019 Apr 15;170:739-749. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.12.042.
23. Zhang GX, Yan YL, Guo LL, He QS, Chen LG. Composition and variation characteristics of atmospheric carbonaceous species in PM_{2.5} in Taiyuan, China. *Huan Jing Ke Xue*. 2015 Mar;36(3):780-6
24. Qi M, Jiang L, Liu Y, Xiong Q, Sun C, Li X, Zhao W, Yang X. Analysis of the Characteristics and Sources of Carbonaceous Aerosols in

- PM_{2.5} in the Beijing, Tianjin, and Langfang Region, China. *Int J Environ Res Public Health*. 2018 Jul 13;15(7). pii: E1483. doi: 10.3390/ijerph15071483.
25. Gao J, Wang K, Wang Y, Liu S, Zhu C, Hao J, Liu H, Hua S, Tian H. Temporal-spatial characteristics and source apportionment of PM_{2.5} as well as its associated chemical species in the Beijing-Tianjin-Hebei region of China. *Environ Pollut*. 2018 Feb;233:714-724. doi: 10.1016/j.envpol.2017.10.123.
 26. Bisht DS, Dumka UC, Kaskaoutis DG, Pipal AS, Srivastava AK, Soni VK, Attri SD, Sateesh M, Tiwari S. Carbonaceous aerosols and pollutants over Delhi urban environment: Temporal evolution, source apportionment and radiative forcing. *Sci Total Environ*. 2015 Jul 15;521-522:431-45. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.03.083.
 27. Ram K, Sarin MM, Tripathi SN. Temporal trends in atmospheric PM_{2.5}, PM₁₀, elemental carbon, organic carbon, water-soluble organic carbon, and optical properties: impact of biomass burning emissions in the Indo-Gangetic Plain. *Environ Sci Technol*. 2012 Jan 17;46(2):686-95. doi: 10.1021/es202857w.
 28. Rastogi N, Singh A, Singh D, Sarin MM. Chemical characteristics of PM(2.5) at a source region of biomass burning emissions: evidence for secondary aerosol formation. *Environ Pollut*. 2014 Jan;184:563-9. doi: 10.1016/j.envpol.2013.09.037.
 29. Zhan C, Zhang J, Zheng J, Yao R, Wang P, Liu H, Xiao W, Liu X, Cao J. Characterization of carbonaceous fractions in PM_{2.5} and PM₁₀ over a typical industrial city in central China. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2019 Jun;26(17):16855-16867. doi: 10.1007/s11356-017-9970-9.
 30. Chen Y, Zang L, Du W, Xu D, Shen G, Zhang Q, Zou Q, Chen J, Zhao M, Yao D. Ambient air pollution of particles and gas pollutants, and the predicted health risks from long-term exposure to PM_{2.5} in Zhejiang province, China. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2018 Aug;25(24):23833-23844. doi: 10.1007/s11356-018-2420-5.
 31. Sulong NA, Latif MT, Khan MF, Amil N, Ashfold MJ, Wahab MIA, Chan KM, Sahani M. Source apportionment and health risk assessment

- among specific age groups during haze and non-haze episodes in Kuala Lumpur, Malaysia. *Sci Total Environ.* 2017 Dec 1;601-602:556-570. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.153.
32. Wang G, Cheng S, Li J, Lang J, Wen W, Yang X, Tian L. Source apportionment and seasonal variation of PM_{2.5} carbonaceous aerosol in the Beijing-Tianjin-Hebei region of China. *Environ Monit Assess.* 2015 Mar;187(3):143. doi: 10.1007/s10661-015-4288-x.
33. Wang S, Liao T, Wang L, Sun Y. Process analysis of characteristics of the boundary layer during a heavy haze pollution episode in an inland megacity, China. *J Environ Sci (China).* 2016 Feb;40:138-44. doi: 10.1016/j.jes.2015.12.008.
34. Xie JJ, Yuan CG, Shen YW, Xie J, He KQ, Zhu HT, Zhang KG. Bioavailability/speciation of arsenic in atmospheric PM_{2.5} and their seasonal variation: A case study in Baoding city, China. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2019 Mar;169:487-495. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.11.026.
35. Niu X, Ho KF, Hu T, Sun J, Duan J, Huang Y, Lui KH, Cao J. Characterization of chemical components and cytotoxicity effects of indoor and outdoor fine particulate matter (PM_{2.5}) in Xi'an, China. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2019 Nov;26(31):31913-31923. doi: 10.1007/s11356-019-06323-3.
36. Singh A, Rastogi N, Patel A, Singh D. Seasonality in size-segregated ionic composition of ambient particulate pollutants over the Indo-Gangetic Plain: Source apportionment using PMF. *Environ Pollut.* 2016 Dec;219:906-915. doi: 10.1016/j.envpol.2016.09.010.
37. Ram K, Sarin MM. Atmospheric carbonaceous aerosols from Indo-Gangetic Plain and Central Himalaya: impact of anthropogenic sources. *J Environ Manage.* 2015 Jan 15;148:153-63. doi: 10.1016/j.jenvman.2014.08.015.
38. Yang W, Guo M, Liu G, Yu G, Wang P, Wang H, Chai T. Detection and analysis of fine particulate matter and microbial aerosol in chicken houses in Shandong Province, China. *Poult Sci.* 2018 Mar 1;97(3):995-1005. doi: 10.3382/ps/pex388.

39. Guo Z, Wang Z, Qian L, Zhao Z, Zhang C, Fu Y, Li J, Zhang C, Lu B, Qian J. Biological and chemical compositions of atmospheric particulate matter during hazardous haze days in Beijing. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2018 Dec;25(34):34540-34549. doi: 10.1007/s11356-018-3355-6.
40. Wang BY, Lang JD, Zhang LN, Fang JH, Cao C, Hao JM, Zhu T, Tian G, Jiang JK. Characterizing Beijing's Airborne Bacterial Communities in PM_{2.5} and PM₁ Samples During Haze Pollution Episodes Using 16S rRNA Gene Analysis Method. *Huan Jing Ke Xue.* 2015 Aug;36(8):2727-34.
41. Lu R, Li Y, Li W, Xie Z, Fan C, Liu P, Deng S. Bacterial community structure in atmospheric particulate matters of different sizes during the haze days in Xi'an, China. *Sci Total Environ.* 2018 Oct 1;637-638:244-252. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.006.
42. Fan C, Li Y, Liu P, Mu F, Xie Z, Lu R, Qi Y, Wang B, Jin C. Characteristics of airborne opportunistic pathogenic bacteria during autumn and winter in Xi'an, China. *Sci Total Environ.* 2019 Jul 1;672:834-845. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.412
43. Du P, Du R, Ren W, Lu Z, Fu P. Seasonal variation characteristic of inhalable microbial communities in PM_{2.5} in Beijing city, China. *Sci Total Environ.* 2018 Jan 1;610-611:308-315. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.07.097.
44. Fan XY, Gao JF, Pan KL, Li DC, Dai HH, Li X. More obvious air pollution impacts on variations in bacteria than fungi and their co-occurrences with ammonia-oxidizing microorganisms in PM_{2.5}. *Environ Pollut.* 2019 Aug;251:668-680. doi: 10.1016/j.envpol.2019.05.004.
45. Liu H, Zhang X, Zhang H, Yao X, Zhou M, Wang J, He Z, Zhang H, Lou L, Mao W, Zheng P, Hu B. Effect of air pollution on the total bacteria and pathogenic bacteria in different sizes of particulate matter. *Environ Pollut.* 2018 Feb;233:483-493. doi: 10.1016/j.envpol.2017.10.070.
46. Yoo SE, Park JS, Lee SH, Park CH, Lee CW, Lee SB, Yu SD, Kim SY, Kim H. *Int J Environ Res Public Health.* 2019 Aug 11;16(16). pii: E2872. doi: 10.3390/ijerph16162872.

47. Schraufnagel DE, Balmes JR, Cowl CT, De Matteis S, Jung SH, Mortimer K. Air Pollution and Noncommunicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 1: The Damaging Effects of Air Pollution. *Chest*. 2019 Feb;155(2):409-416. doi: 10.1016/j.chest.2018.10.042.
48. Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, Andersen ZJ, Weinmayr G, Hoffmann B et al. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *Lancet*. 2014 Mar 1;383(9919):785-95. doi: 10.1016/S0140-6736(13)62158-3.
49. MacIntyre EA, Gehring U, Mölter A, Fuertes E, Klümper C, Krämer U et al. Air pollution and respiratory infections during early childhood: an analysis of 10 European birth cohorts within the ESCAPE Project. *Environ Health Perspect*. 2014 Jan;122(1):107-13. doi: 10.1289/ehp.1306755.
50. Strickland MJ1, Hao H, Hu X, Chang HH, Darrow LA, Liu Y. Pediatric Emergency Visits and Short-Term Changes in PM_{2.5} Concentrations in the U.S. State of Georgia. *Environ Health Perspect*. 2016 May;124(5):690-6. doi: 10.1289/ehp.1509856. Epub 2015 Oct 9.
51. Krall JR, Mulholland JA, Russell AG, Balachandran S, Winquist A, Tolbert PE, Waller LA, Sarnat SE. Associations between Source-Specific Fine Particulate Matter and Emergency Department Visits for Respiratory Disease in Four U.S. Cities. *Environ Health Perspect*. 2017 Jan;125(1):97-103. doi: 10.1289/EHP271.
52. Achilleos S, Kioumourtzoglou MA, Wu CD, Schwartz JD, Koutrakis P, Papatheodorou SI. Acute effects of fine particulate matter constituents on mortality: A systematic review and meta-regression analysis. *Environ Int*. 2017 Dec;109:89-100. doi: 10.1016/j.envint.2017.09.010. Epub 2017 Oct 5.
53. Chi R, Li H, Wang Q, Zhai Q, Wang D, Wu M, Liu Q, Wu S, Ma Q, Deng F, Guo X. Association of emergency room visits for respiratory diseases with sources of ambient PM_{2.5}. *J Environ Sci (China)*. 2019 Dec;86:154-163. doi: 10.1016/j.jes.2019.05.015.

54. Wang Z, Zhao J, Wang T, Du X, Xie J. Fine-particulate matter aggravates cigarette smoke extract-induced airway inflammation via Wnt5a-ERK pathway in COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2019 May 9;14:979-994. doi: 10.2147/COPD.S195794.
55. Hopke PK1, Croft D2, Zhang W3, Lin S3, Masiol M4, Squizzato S4, Thurston SW5, van Wijngaarden E6, Utell MJ7, Rich DQ8. Changes in the acute response of respiratory diseases to PM2.5 in New York State from 2005 to 2016. *Sci Total Environ*. 2019 Aug 10;677:328-339. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.357.
56. Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R, Samoli E, Stafoggia M, Weinmayr G et al. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Lancet Oncol*. 2013 Aug;14(9):813-22. doi: 10.1016/S1470-2045(13)70279-1.
57. Zhang Z, Yan W, Chen Q, Zhou N, Xu Y. The relationship between exposure to particulate matter and breast cancer incidence and mortality: A meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2019 Dec;98(50):e18349. doi: 10.1097/MD.00000000000018349.
58. Xu Z1, Wang N2, Xu Y3, Hua L4, Zhou D5, Zheng M6, Deng X7. T Effects of chronic PM2.5 exposure on pulmonary epithelia: Transcriptome analysis of mRNA-exosomal miRNA interactions. *Toxicol Lett*. 2019 Nov;316:49-59. doi: 10.1016/j.toxlet.2019.09.010
59. Stafoggia M, Cesaroni G, Peters A, Andersen ZJ, Badaloni C, Beelen R et al. Long-term exposure to ambient air pollution and incidence of cerebrovascular events: results from 11 European cohorts within the ESCAPE project. *Environ Health Perspect*. 2014 Sep;122(9):919-25. doi: 10.1289/ehp.1307301.
60. Cesaroni G, Forastiere F, Stafoggia M, Andersen ZJ, Badaloni C, Beelen R et al. Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from the ESCAPE Project. *BMJ*. 2014 Jan 21;348:f7412. doi: 10.1136/bmj.f7412.
61. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/695/importancia.pdf>

Acceso: 11 de marzo de 2020.

62. Zanobetti A, Dominici F, Wang Y, Schwartz JD. A national case-crossover analysis of the short-term effect of PM_{2.5} on hospitalizations and mortality in subjects with diabetes and neurological disorders. *Environ Health*. 2014 May 22;13(1):38. doi: 10.1186/1476-069X-13-38.
63. Tsai TL, Lin YT, Hwang BF, Nakayama SF, Tsai CH, Sun XL, Ma C, Jung CR. Fine particulate matter is a potential determinant of Alzheimer's disease: A systemic review and meta-analysis. *Environ Res*. 2019 Oct;177:108638. doi: 10.1016/j.envres.2019.108638.
64. Fu P, Guo X, Cheung FMH, Yung KKL. The association between PM_{2.5} exposure and neurological disorders: A systematic review and meta-analysis. *Sci Total Environ*. 2019 Mar 10;655:1240-1248. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.218.
65. Verdin A, Cazier F, Fitoussi R, Blanchet N, Vié K, Courcot D, Momas I, Seta N, Achard S. An in vitro model to evaluate the impact of environmental fine particles (PM_{0.3-2.5}) on skin damage. *Toxicol Lett*. 2019 May 1;305:94-102. doi: 10.1016/j.toxlet.2019.01.016.
66. Kim HJ, Bae IH, Son ED, Park J, Cha N, Na HW, Jung C, Go YS, Kim DY, Lee TR, Shin DW. Transcriptome analysis of airborne PM_{2.5}-induced detrimental effects on human keratinocytes. *Toxicol Lett*. 2017 May 5;273:26-35. doi: 10.1016/j.toxlet.2017.03.010.
67. Pedersen M, Giorgis-Allemand L, Bernard C, Aguilera I, Andersen AM, et al. Ambient air pollution and low birthweight: a European cohort study (ESCAPE). *Lancet Respir Med*. 2013 Nov;1(9):695-704. doi: 10.1016/S2213-2600(13)70192-9.
68. 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*. 2017 May;22(3):337-347. doi: 10.1007/s10741-017-9606-7.
69. Lippmann M, Chen LC, Gordon T, Ito K, Thurston GD. National Particle Component Toxicity (NPACT) Initiative: integrated epidemiologic and toxicologic studies of the health effects of particulate matter components. *Res Rep Health Eff Inst*. 2013 Oct;(177):5-13.

70. Pacitto A, Amato F, Salmatonidis A, Moreno T, Alastuey A, Reche C, Buonanno G, Benito C, Querol X. Effectiveness of commercial face masks to reduce personal PM exposure. *Sci Total Environ.* 2019 Feb 10;650(Pt 1):1582-1590. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.109.
71. Cherrie JW, Apsley A, Cowie H, Steinle S, Mueller W, Lin C, Horwell CJ, Sleenwenhoek A, Loh M. Effectiveness of face masks used to protect Beijing residents against particulate air pollution. *Occup Environ Med.* 2018 Jun;75(6):446-452. doi: 10.1136/oemed-2017-104765.