



FACULTAD DE CIENCIAS

GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

TRABAJO DE FIN DE GRADO

ASMA Y CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Autora: BEATRIZ MARTIN BAUTISTA CERRO

Tutora: MARÍA SANDÍN VÁZQUEZ

2021

ÍNDICE

Resumen	1
1. Introducción	3
1.1. Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud	5
1.2. Asma y factores de riesgo.....	6
2. Objetivos.....	8
3. Materiales y métodos.....	8
4. Resultados.....	10
4.1. Asma según grupos de edad	10
4.2. Asma según nivel socioeconómico (NSE)	15
5. Discusión y conclusión	21
6. Bibliografía.....	22
7. Anexos.....	28

Resumen

El asma es una enfermedad respiratoria que afecta a millones de personas por todo el mundo, se acentúa con el aumento de contaminantes atmosféricos, por lo que hay una gran preocupación por las crecientes emisiones de contaminantes en el planeta.

Los objetivos de este trabajo de fin de grado son describir la prevalencia e incidencia de personas con asma relacionada con la contaminación atmosférica según grupos de edad y según el nivel socioeconómico.

Como resultados principales de estos estudios se encuentra una clara relación entre el aumento diario de concentración de contaminantes y las admisiones en hospitales por asma en especial para el grupo de edad de 0-18 años, mientras que para las personas de mayor edad esta relación, aunque existe, no es tan pronunciada. Por otro lado, un bajo nivel socioeconómico aumenta las probabilidades de presentar asma e incrementa el número de episodios y tratamientos médicos a lo largo de la vida.

La mayoría de los estudios coinciden en sus resultados dónde se demuestra la variación de la incidencia y prevalencia del asma según el nivel socioeconómico, y una mayor propensión a sufrir afecciones asmáticas para las personas de edad escolar. Sin embargo, las dificultades en el análisis de los grupos de población dan en muchos casos lugar a resultados no concluyentes, por lo que es un ámbito en el que se deberá continuar investigando.

Palabras clave: asma, contaminantes atmosféricos, contaminación atmosférica, grupos de edad, nivel socioeconómico, salud.

Abstract

Asthma is a respiratory disease that affects millions of people around the world, it is accentuated with the increase in air pollutants, so there is great concern about the increasing emissions of pollutants on the planet.

The objectives of this final project work are to describe the prevalence and incidence of people with asthma related to air pollution according to age groups and socioeconomic status.

As main results of these studies is a clear relationship between the daily increase in concentration of pollutants and admissions to hospitals for asthma especially for the age group of 0-18 years, while for older people this relationship, although it exists, is not so pronounced. On the other hand, a low socioeconomic level increases the chances of developing asthma and increases the number of episodes and medical treatments throughout life.

Most studies agree in their results which demonstrate the variation in the incidence and prevalence of asthma according to socioeconomic status, and a greater propensity to suffer asthmatic conditions for school-age people. However, difficulties in the analysis of population groups often lead to inconclusive results, so this is an area in which further research will be needed.

Key words: asthma, atmospheric pollutants, atmospheric pollution, age groups, socioeconomic level, health.

1. Introducción

La contaminación atmosférica se ha convertido en uno de los principales problemas que afectan al medioambiente en distintos ámbitos, desde la destrucción de hábitats terrestres y marinos al deterioro de la calidad de vida humana. En las últimas décadas el uso de los medios de transporte automatizados y la producción industrial a gran escala, entre otros factores, han hecho aumentar en las ciudades los niveles de contaminantes atmosféricos y con ello los estudios que contrastan los efectos de estos en la salud humana. Gracias a ello se sabe que la polución atmosférica tiene efectos negativos sobre todo en los niños y niñas, ancianos y personas con enfermedades crónicas subyacentes (Esposito et al., 2014).

A pesar del establecimiento y recomendación de valores límite de concentración de contaminantes (Ver Anexo I), la vigilancia de las estaciones de control atmosférica y los planes impuestos para reducir emisiones, en Europa los niveles máximos recomendados de contaminantes se exceden sobre todo en las áreas más urbanizadas y una gran cantidad de la población vive en áreas donde la calidad del aire es pésima. Entre 2004 y 2006, se estima que unas 19.000 muertes pudieron ser evitadas si las ciudades europeas se hubiesen mantenido por debajo de los umbrales recomendados (Mazenq et al., 2017). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) mediante la disminución de estos niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas como el asma (OMS, 2021).

Desde los años 90, los avances en fármacos y cuidados médicos han hecho menguar la tendencia en hospitalizaciones de urgencia por ataques de asma en todos los grupos de edad y principalmente de los más jóvenes (Mikalsen et al., 2015). No obstante, se calcula que unos 300 millones de personas están afectadas por esta enfermedad a nivel mundial (Dougherty & Fahy, 2009). La tasa de mortalidad global en 2012 estaba en torno a 0,19 muertes por 100.000 personas (Dougherty & Fahy, 2009), y, según la OMS en 2015 se notificaron unas 380.000 muertes causadas por asma, la mayoría en adultos. Las incidencias de pacientes asmáticos que conllevan visitas a consulta médica, cuidados de los servicios de emergencia e ingresos hospitalarios, suponen aproximadamente el 20% de los costes totales relacionados con la salud ascendiendo a millones de euros (Dougherty & Fahy, 2009).

En la siguiente imagen se muestra la carga de muertes por enfermedades relacionadas con el medioambiente obtenidas del borrador del Plan Estratégico de Salud y Medioambiente elaborado por el Ministerio de Sanidad en cooperación con el MITECO dónde se puede observar cómo las relacionadas con las infecciones en las vías respiratorias y el asma están entre las más comunes.

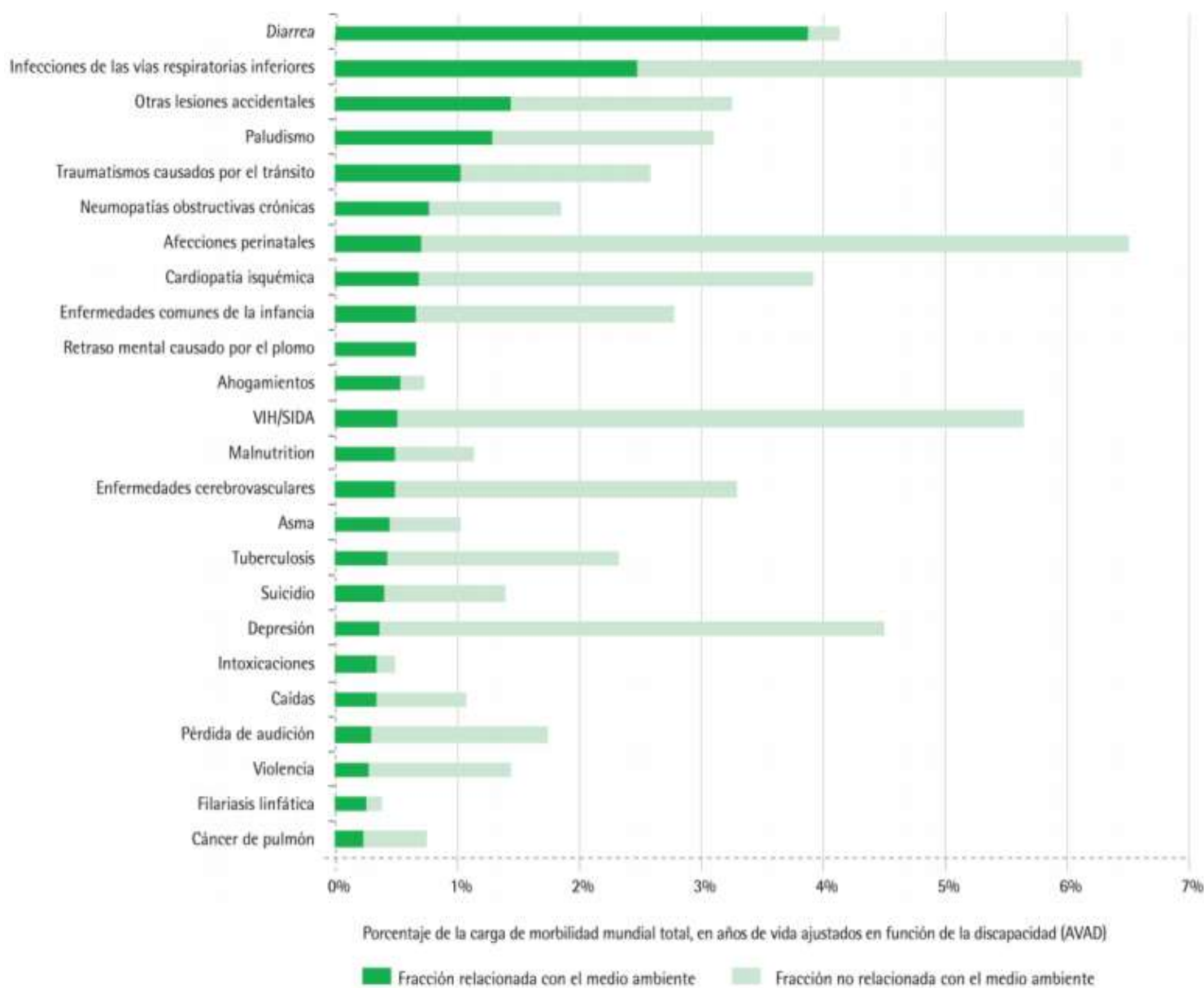


Figura 1. Enfermedades mortales con la mayor contribución del medioambiente (Ministerio de Sanidad, MITECO, 2021).

Las organizaciones gubernamentales de salud tienen como propósito reducir las cifras de morbilidad, y por ello, se elaboran estudios epidemiológicos de prevalencia e incidencia con los que se quiere esclarecer la correlación entre los niveles de

contaminantes atmosféricos, entre otros factores de riesgo, con el aumento de los casos de esta enfermedad. En este trabajo se hará una revisión bibliográfica de la información existente sobre el caso del asma, con el fin de exponer los principales resultados de los estudios epidemiológicos más actuales.

1.1. Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud

La contaminación atmosférica es uno de los mayores riesgos que existen para la salud humana. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021) declara como principales efectos de la contaminación atmosférica el riesgo de padecer enfermedades agudas y crónicas, en su mayoría afecciones a la salud pulmonar, cardiovascular y cáncer.

Las fuentes de contaminación pueden ser de origen natural como las partículas en suspensión emitidas por incendios o los gases de efecto invernadero expulsados por erupciones volcánicas, o bien, de origen antropogénico. Los contaminantes antropogénicos son uno de los mayores riesgos, cuando se trata de contaminación aérea la escala espacial puede variar desde pequeños lugares donde se concentran los contaminantes, a largos movimientos de masas a lo largo de continentes enteros, por este motivo la contaminación atmosférica nos afecta a todos (Soler M.R., Gámez P. & Olid, 2015).

La Comisión Europea (EC), la ONU y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) han establecido los “National Ambient Air Quality Standards” (NAAQS) fijando unos umbrales máximos de concentración de seis contaminantes atmosféricos principales; entre ellos, el dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), el ozono (O₃) y las partículas finas (PM_{2.5}) y gruesas (PM₁₀). Estos límites están incluidos en el Anexo I.

Estos contaminantes principales provienen de diferentes fuentes, por ejemplo, el dióxido de nitrógeno (NO₂) es un marcador de contaminación de aire que hace saber que hay una fuente de combustión como fábricas industriales, estaciones generadoras de energía eléctrica o tráfico urbano (Stieb et al., 2021). Los efectos diarios de este en la salud suelen ser fácilmente detectables ya que las admisiones por asma, bronquitis y otras enfermedades pulmonares en los hospitales aumentan directamente con el incremento de su concentración (Weinmayr et al., 2010). El

monóxido de carbono (CO) es producido por la combustión incompleta de hidrocarburos por fuentes como sistemas de calefacción defectuosos (Lisbona, Hamnett, 2018). Produce una disminución del O₂ en la sangre de las personas que puede derivar en disfunciones cardíacas, daños cerebrales, mareos, dolor de cabeza y muerte (MITECO, 2019). El SO₂ también se produce a través de la combustión de productos petrolíferos, combustibles, en calefacciones, incendios, industria química, etc. Se relaciona a este contaminante con los aumentos de visitas a urgencias relacionadas con afecciones del sistema respiratorio, en especial el asma, bronquitis crónica y alergias, es un producto muy irritante, en especial para los ojos, fosas nasales, sistema respiratorio y en el tubo digestivo, también puede producir cáncer y muerte prematura (Wu et al., 2020).

Por otro lado, el O₃ es un oxidante que daña los pulmones cuya asociación con el asma en menores y adultos ha sido demostrada (Sousa, Alvim-Ferraz & Martins, 2013). Es una de las causas principales de los aumentos de episodios asmáticos diarios, otras enfermedades pulmonares y cáncer (Weschler, 2006). Su formación y acumulación es un proceso que está determinado por los diferentes compuestos interactuantes. Los óxidos de nitrógeno (NO_x) y/o compuestos orgánicos volátiles (COVs), cuya principal fuente local es la quema de combustibles fósiles asociada a la movilidad son uno de los principales precursores de ozono a nivel del suelo (Kellerová & Rastislav, 2014).

En cuanto a las partículas gruesas (PM₁₀) y finas (PM_{2.5}), según su tamaño se depositarán en una parte distinta del tracto respiratorio. El mecanismo fisiopatológico de acción definido hace más fácil evaluar los efectos de estas sobre la salud, demostrando que son adversos incluso en concentraciones menores a los umbrales establecidos por los países (Olaya-Ochoa, Ovalle Muñoz & Urbano León, 2017; Stieb et al., 2021). Los efectos principales sobre la salud de estos contaminantes son la inflamación crónica de las vías aéreas, desarrollo de enfermedades cardiovasculares, ataques cardíacos y muertes prematuras (Medina et al., 2004).

1.2. Asma y factores de riesgo

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021), el asma es una enfermedad crónica que se caracteriza por ataques recurrentes de disnea y sibilancias sobre todo por la noche o temprano por la mañana, también variando de frecuencia entre

personas. El flujo del aire es normalmente reversible a la normalidad de forma espontánea o con tratamiento (Stern, Pier & Litonjua, 2020). Afecta a todos los grupos de edad y actualmente se calculan unos 235 millones de pacientes con asma. En los últimos 60 años la prevalencia del asma ha aumentado considerablemente (Beasley, Semprini & Mitchell, 2015).

Desde los años, 90 los avances en fármacos y cuidados médicos han hecho menguar la tendencia en hospitalizaciones de urgencia por ataques de asma en todos los grupos de edad y principalmente de los más jóvenes (Mikalsen et al., 2015). No obstante, se calcula que unos 300 millones de personas están afectadas por esta enfermedad a nivel mundial (Dougherty & Fahy, 2009). La tasa de mortalidad global en 2012 estaba en torno a 0,19 muertes por 100.000 personas (Dougherty & Fahy, 2009) y, según la OMS en 2015 se notificaron unas 380.000 muertes causadas por asma, la mayoría en adultos. Las incidencias de pacientes asmáticos que conllevan visitas a consulta médica, cuidados de los servicios de emergencia e ingresos hospitalarios suponen, aproximadamente, el 20% de los costes totales relacionados con la salud ascendiendo a millones de euros (Dougherty & Fahy, 2009).

Los factores de riesgo que pueden hacer aparecer o empeorar el desarrollo de la enfermedad son los relacionados con la persona de estudio, ambientales y/o la interacción entre todos. Algunos factores de riesgo relacionados la persona de estudio son el sexo, la historia genética familiar, bajo peso al nacer, el nacimiento por cesárea, un índice alto de masa corporal, rinitis crónica, estrés, dieta, etc. Los factores ambientales de riesgo son algunos como el tabaquismo materno/paterno, el tabaquismo propio, exposición a hongos, a alérgenos, a contaminantes atmosféricos, contaminantes del aire internos de la propia casa/trabajo/colegio, etc. (Beasley, Semprini & Mitchell, 2015). La disminución o eliminación de cada uno de estos factores de riesgo harán disminuir los ingresos hospitalarios diarios (Altzibar et al., 2015).

Aunque todo el mundo se encuentre afectado por la contaminación, los niños y niñas son más vulnerables a sus efectos debido a su sistema respiratorio e inmunológico inmaduro, por lo que el asma es la enfermedad más común entre la población infantil (Ferrante & La Grutta, 2018). Además, por lo general son más activos que los adultos por lo que concentran mayor número de periodos en los que se da una alta tasa de

inhalación aérea haciendo depositar en los pulmones mayor volumen de contaminantes. Además de esto, principalmente respiran de forma oral, significa que el filtro nasal se omite favoreciendo que una gran variedad de contaminantes se introduzca en el organismo (Ortega-García et al., 2020; Esposito et al., 2014).

Existe otra tendencia, respaldada por numerosos estudios que muestran que la incidencia del asma es más común en niños de edades tempranas que en niñas, mientras que según se avanza a edades más tardías la tendencia a desarrollar asma la ocupan principalmente las mujeres (Bjerg et al., 2010).

Por otro lado, se sabe que las desigualdades ambientales son una realidad demostrable, así como la distribución sociodemográfica y socioeconómica va en muchos casos unida de la mano, por ello no se pueden analizar con igualdad los datos médicos obtenidos sin tener en cuenta el ambiente en el que viven las personas de las que han sido tomados.

En esta revisión bibliográfica se analizará el asma teniendo en cuenta estos grupos de edad y el nivel socioeconómico para averiguar los grupos más sensibles a la contaminación atmosférica.

2. Objetivos

El objetivo general del TFG es investigar la prevalencia e incidencia del asma relacionada con la contaminación atmosférica.

Los objetivos específicos de este TFG son:

- Describir la prevalencia e incidencia de personas con asma relacionada con la contaminación atmosférica según grupos de edad.
- Describir la prevalencia e incidencia de personas con asma relacionada con la contaminación atmosférica según nivel socioeconómico.

3. Materiales y métodos

Para realizar este TFG se ha hecho una revisión bibliográfica de estudios nacionales e internacionales mediante la búsqueda y recopilación de información de calidad (documentos bibliográficos, imágenes, tablas de datos...).

Los criterios de selección de los estudios son: artículos que se hayan publicado a partir del año 2010 hasta la actualidad en castellano y en inglés. Deben ser artículos científicos compuestos por estudios experimentales, epidemiológicos o cuya investigación se haya compuesto por otra revisión bibliográfica. Todos debían tener entre sus objetivos esclarecer la posible relación entre los niveles de concentración de contaminantes atmosféricos y la incidencia y prevalencia del asma en los sujetos de estudio. Los avances en investigación sobre contaminantes atmosféricos y salud pública hacen variar las directrices de umbrales máximos permitidos por los gobiernos en cortos periodos de tiempo, por lo que el año 2010 fue elegido como criterio de inclusión para que no hubiese cambios importantes entre periodos de exposición. Los años 2010 y 2018 son en los que el mayor número de los documentos bibliográficos se publicaron.

Para que una investigación fuese escogida tenía que haber analizado la población de estudio clasificándola en los siguientes grupos de edad: infancia y adolescencia (hasta 18 años), edad adulta joven (19-55 años) y edad adulta mayor (más de 55 años). Los estudios incluidos deben diferenciar entre distintos grupos de edad, nivel socioeconómico familiar o individual y que estos estén relacionados con la contaminación atmosférica.

A pesar de los factores de riesgo ambientales que se toman en cuenta aquí, existen otros como el tabaquismo, la dermatitis, la obesidad, el sexo o antecedentes genéticos, que influyen en el desarrollo de la enfermedad y están incluidos en los estudios, aunque no se profundizará en ellos. Estos tendrán que ser tratados como factores de confusión ya que, al influir en la salud de las personas, alteran el resultado de los estudios. Por ello, los artículos seleccionados deberán haber comenzado sus investigaciones con un cuestionario que los sujetos respondan y así eliminar las perturbaciones de estos factores en un análisis de sensibilidad para que los resultados sean válidos. Un análisis de sensibilidad estudia como los valores de una variable independiente afectan a una variable dependiente. En este caso se analizan los factores de confusión con la finalidad de saber en qué porcentaje alteran a la incidencia y prevalencia del asma y así poder conocer realmente cómo afectan el resto de las variables estudiadas.

Para realizar la revisión bibliográfica se han utilizado los buscadores científicos: Web of Science, Google Scholar y SciELO. La búsqueda booleana a partir de distintos términos claves utilizando inglés y español. se ha realizado a partir de la combinación de palabras clave (en español y en inglés). Las palabras clave utilizadas fueron las siguientes: asma, contaminación atmosférica, contaminantes atmosféricos, grupos de edad, salud, nivel socioeconómico y admisiones hospitalarias. La combinación de palabras con más resultados útiles fue asma-grupos de edad-contaminación atmosférica para el primer objetivo y asma-nivel socioeconómico-admisiones hospitalarias para el segundo objetivo.

Los artículos que no cumplieran estas características (criterios de inclusión) han quedado descartados.

Los resultados de los estudios experimentales y epidemiológicos consultados están incluidos en las tablas en el apartado 4. Se han organizado en función de los objetivos específicos: grupos de edad y nivel socioeconómico.

4. Resultados

4.1. Asma según grupos de edad

Está claro que el asma es una enfermedad que afecta a todos los grupos de edad, desde bebés a ancianos, pero es sufrida mayoritariamente por los más jóvenes. La importancia de comprobar la incidencia y prevalencia reside en averiguar las tendencias de la enfermedad a lo largo de la vida y así mejorar en su tratamiento y prevención. La edad es un factor de susceptibilidad para los episodios de asma a causa de la contaminación del aire. Las asociaciones más importantes a los contaminantes se obtuvieron para el grupo de 5-18 años (Alhanti et al., 2016; Silverman et al., 2010) y la razón está en la reducción del asma con la edad (Mazenq et al., 2017). El asma infantil tiene un fenotipo distinto que el asma en adultos (Tsai, Chu-Lin, M.D., ScD. et al., 2012) así como la incidencia de cada factor en el desarrollo de la enfermedad según la edad. Aunque el asma afecte con mayor frecuencia a los más pequeños, los mayores de 65 años tienen más probabilidad de padecer secuelas después de un episodio (Park et al., 2013).

La exposición a contaminantes atmosféricos, las condiciones meteorológicas o los alérgenos son unos de los factores más fuertemente implicados en la aparición del

asma. Diversos estudios señalan una correlación entre los días con mayores niveles de contaminación, sobre todo de PM₁₀, O₃, NO_x, CO y benceno, y las admisiones de urgencias en hospitales por asma (Mazenq et al., 2017; Silverman et al., 2010). El incremento de concentración de contaminantes puede hacer aumentar las urgencias hospitalarias por asma hasta un 20% (Silverman & Ito, 2010) estos cambios afectan de forma más agresiva a los grupos de edad de entre 0-14 años (Ko et al., 2007).

Para la edad adulta, a partir de los 19 años, se sabe que la contaminación atmosférica produce efectos en la salud del sistema respiratorio aumentando los ataques de asma. Sin embargo, estos no son tan notables como en edades inferiores y en algunos casos no son demostrables, por lo que para este rango de edad los efectos producidos son menores (Goodman et al., 2017). En este grupo de edad los factores más influyentes suelen ser el estrés, horas de sueño, ocupación laboral, actividad física, tabaquismo, dieta y nivel socioeconómico (an et al., 2021; Andersen et al., 2012; Nordeide Kuiper et al., 2021).

La siguiente tabla muestra los estudios que relacionan la exposición a contaminantes atmosféricos con el asma según grupos de edad.

Tabla 4.1. Estudios que relacionan el asma con la contaminación atmosférica.

Autor, año, país	Tipo de estudio y objetivo	Sujetos y origen	Medida de resultados	Conclusión y/o limitaciones
Goodman et al., 2017, Estados Unidos	Estudio observacional descriptivo de series de casos. Evaluar el impacto del polen atmosférico, infecciones respiratorias y el estatus socioeconómico con las asociaciones entre el ozono ambiental, PM _{2.5} y el asma en la ciudad de Nueva York.	Pacientes hospitalizados por asma recogidos cuyos datos se recopilan en el New York Stadewide Planning and Research Cooperative System (SPARCS) de 1999 a 2009	Se calcularon las hospitalizaciones diarias por asma para los rangos de edad de 0-6, 6-18, 19-49, +50. Los datos de concentraciones de contaminantes fueron obtenidos por la EPA en un radio de 20 millas al centro de Nueva York. Se realizó un modelo de regresión aditiva generalizada para evaluar la asociación entre los recuentos diarios de hospitalizaciones y los contaminantes.	Se ha visto que existe una asociación mayor entre el ozono y PM _{2.5} con las crisis asmáticas de niños y niñas de entre 6 y 18 años que para el resto de los grupos de edad y que estas asociaciones pueden ser modificadas por su nivel socioeconómico.

Silverman et al., 2010, Estados Unidos	Estudio observacional descriptivo de series de casos. Investigar qué relación existe entre PM _{2.5} y el ozono con el asma severo en la estación cálida y si existe una susceptibilidad a la contaminación relacionada con la edad.	La población estudiada fueron los casos de 75.383 hospitalizaciones diarias por diagnóstico primario o admisión en urgencias en 74 hospitales de la ciudad de Nueva York asociados al New York State Statewide Planning and Research Cooperative System desde 1999 a 2006.	Los grupos de edad examinados fueron 0-6, 6-18, 19-49, 50+. Se tomaron los datos de concentración de PM _{2.5} y ozono en valores de 24 horas desde el 1 de abril al 31 de agosto en un radio de 20 millas sobre el centro geográfico de la ciudad, obtenidos por el National Climatic Data Center. Se utilizó un modelo lineal de Poisson para estimar el impacto de los contaminantes en la edad. Para conocer el papel de la edad entre la contaminación atmosférica y el asma se utilizó una prueba de dos variables que fueron cada contaminante.	La edad representó un modificador importante para las hospitalizaciones, el mayor riesgo fue obtenido para los niños y niñas de 6 a 18 años con una tasa de ingreso en la UCI y tasa de hospitalizaciones mayor en todos los escenarios estudiados.
Mazenq et al., 2017, Francia	Estudio observacional de casos y controles. Comparar el impacto de la contaminación atmosférica con las admisiones hospitalarias por asma y grupos de edad dentro de la región Provence-AlpesCote-d'Azur.	Población representada por pacientes de 3 a 99 años recogidos en el servicio de emergencias de la región Provence-Alpes-Cote-d'Azur en 2013.	Se tomaron las 794.884 visitas registradas en 2013 con motivo de asma como objeto de estudio. Los controles son pacientes que consultan por traumatismo en urgencias, los casos son un grupo homogéneo de menor o nula exposición a los contaminantes. Se comparó cada caso con 15 controles. Se definieron 3 grupos de edad, 3-17, 18-49 y 50-99 años. Los datos hospitalarios y de residencia han sido obtenidos por los resúmenes electrónicos del departamento de emergencias (EEDA). Se analizaron PM ₁₀ , NO ₂ y ozono como contaminantes atmosféricos cuyos datos se recogen en la red de monitoreo de calidad de aire AIR PACA y se vincularon al código postal del paciente. Se utilizó un análisis univariado para seleccionar variables mediante regresiones logísticas condicionales y evaluar las interacciones entre covariables con el software R3.1.3.	Se ha encontrado una correlación positiva entre los contaminantes y su papel en el asma para todos los grupos de edad, sin embargo, las asociaciones más fuertes fueron para el grupo de edad de 3 a 17 años.

<p>(Ko et al., 2007), Hong Kong.</p>	<p>Estudio retrospectivo ecológico. El objetivo es evaluar la relación entre los niveles de contaminantes del aire y las hospitalizaciones por asma según grupos de edad en Hong Kong.</p>	<p>Pacientes admitidos en los 15 mayores hospitales de Hong Kong por asma entre junio del 2000 y diciembre de 2005 recogidos del Hospital Authority Head Office.</p>	<p>Se evaluaron 69.176 episodios de asma desde junio del 2000 a diciembre del 2005, estos se clasificaron en grupos de edad de 0-14, 15-65, 65+. Se tomaron como contaminantes atmosféricos las concentraciones de PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂ y SO₂ cuyos datos se extrajeron de 14 estaciones de control en el área de Hong Kong del Environmental Protection Department. El lugar de residencia se asoció a sus respectivos niveles de contaminantes por distrito. Los datos se analizaron estadísticamente mediante modelos aditivos generalizados con distribución de Poisson.</p>	<p>Los efectos de las PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂ y el O₃ resultaron significantes para todos los grupos de edad, sobre todo el de los dos últimos contaminantes. La mayor correlación fue obtenida para el grupo de 0-14 años, seguida del grupo de 14-65 años. La menor implicación de los contaminantes sobre el asma fue obtenida por el grupo de 65+ años.</p>
<p>(Park et al., 2013), Corea del Sur</p>	<p>Estudio observacional de series de casos. Determinar los efectos de la contaminación atmosférica en las admisiones hospitalarias por asma en 3 grupos de edad.</p>	<p>Pacientes cuyas admisiones por asma en hospitales entre el 1 de junio de 1999 y el 31 de diciembre de 2003 se hayan registrado en el Korean National Health Insurance Corporation.</p>	<p>Se incluyeron datos de visitas a la sala de emergencias por asma. Dos visitas o más en el mismo día de la misma persona se contaron como el mismo episodio. Los grupos de edad se dividieron de 0-15, 15-64 y 66+ años. Se utilizaron los datos de los contaminantes PM₁₀, CO, O₃, NO₂ y SO₂ monitorizados en 70 estaciones de las ciudades de Seúl, Busan, Incheon, Daegu, Gwangju, Daejeon y Ulsan. Los datos se analizaron en 2 etapas, la primera estimó el efecto de la contaminación por edad en cada ciudad con un modelo aditivo logarítmico basado en la regresión de Poisson; para la segunda etapa los cambios de asma entre edades se analizaron mediante el software WinBUGS para un análisis bayesiano.</p>	<p>Se encontraron diferencias entre los efectos de cada contaminante sobre la edad. El grupo con menos admisiones hospitalarias, el de los ancianos, también fue el más vulnerable al efecto de las PM₁₀ y NO₂. La variación entre estaciones, el día de la semana y las variables meteorológicas se tomaron como factores de confusión.</p>

(Alhanti et al., 2016), Estados Unidos.	Estudio observacional de series de casos. Investigar las relaciones a corto plazo entre las admisiones por asma en el departamento de urgencias y el O ₃ , CO, NO ₂ , SO ₂ y PM _{2.5} y estimar la asociación a grupos de edad.	La población está representada por pacientes que acudieron al servicio de urgencias en hospitales de Atlanta entre 1993-2009, de Dallas entre 2006-2009 y St. Louis 2001-2007 por episodios de asma.	Los datos de visitas a urgencias por paciente a nivel se obtuvieron por hospitales individuales y de la Asociación de Hospitales de Georgia para Atlanta, de Dallas Fort Worth Fundación del Consejo Hospitalario de Dallas y del Missouri Hospital Asociación de St. Louis. Se tomaron las visitas a urgencias registradas. Los grupos de edad se formaron de 0-4, 5-18, 19-39, 40-64 y 65+ años. Se tomaron los datos de concentración de contaminantes a través de la US Environmental Protection Agency Air Quality System de las 3 áreas metropolitanas. Para establecer la relación entre el asma, los contaminantes atmosféricos y cada grupo de edad se utilizó un modelo de regresión lineal de Poisson.	La edad es un factor de susceptibilidad para los episodios de asma a causa de la contaminación del aire. Las asociaciones más importantes a los contaminantes se obtuvieron para el grupo de 5-18 años.
---	---	--	---	---

En el artículo de Silverman & Ito, (2010) el 8% de los casos de hospitalizaciones totales del servicio de urgencias fueron por asma, en su mayoría fue posible asociar el ozono y las PM_{2.5}. Todos los casos fueron clasificados por edades, gracias a ello este estudio evidencia que el riesgo de padecer episodios de asma es dependiente de la edad. Los niños y niñas en edades escolares presentaron el mayor riesgo y este disminuía al aumentar los años, los niños y niñas menores de 6 años aun con un sistema respiratorio no desarrollado resultaron tener menor riesgo que los de 6-18 años. En este artículo no se consigue relacionar la contaminación atmosférica al asma en adultos.

En todos los artículos los resultados son similares a los de Silverman & Ito, (2010), en ellos se demostró una mayor correlación entre la exposición a contaminantes atmosféricos y al asma en edades de entre 6-18 años. Goodman (2017), Park (2013) Ko (2007), Alhanti (2016) y Mazenq (2017) también demostraron en sus estudios cómo el asma se asociaba a estas edades mientras que no encontró correlación o muy baja con la contaminación atmosférica en edades mayores de 18 años.

Es importante destacar el estudio de Park et al, (2017) aun siendo los mayores de 65 años las personas con menor riesgo de padecer ataques de asma, la salud de estas personas es igualmente influenciada por las exposiciones diarias contaminantes atmosféricos. Este grupo representa el 15% de las visitas hospitalarias por asma, se descubrió que los adultos mayores tienen un riesgo mayor de sufrir episodios severos

de asma en relación con los adultos jóvenes y casi 2 veces más probables de ser ingresados junto con el grupo de niños y niñas (Tsai, Chu-Lin, M.D., ScD. et al., 2012; Park et al., 2017).

4.2. Asma según nivel socioeconómico (NSE)

El ambiente familiar sobre todo en edades tempranas y prenatales es determinante para la salud de los niños y niñas (Ruijsbroek et al., 2011). Uno de los factores que más influyen en la diversidad de resultados entre participantes es el NSE, en él se engloban el lugar de residencia, renta familiar, estrés, tipo de trabajo, diversidad étnica, acceso al sistema sanitario, etc. Un NSE bajo está relacionado en segundo plano con un mayor índice de tabaquismo, obesidad o desnutrición y dieta no saludable, entre otros, que empeoran la calidad de vida (Antó, 2012). La siguiente figura es un marco conceptual de los determinantes de las desigualdades sociales en la salud incluida en el borrador del Plan Estratégico de Salud y Medioambiente.

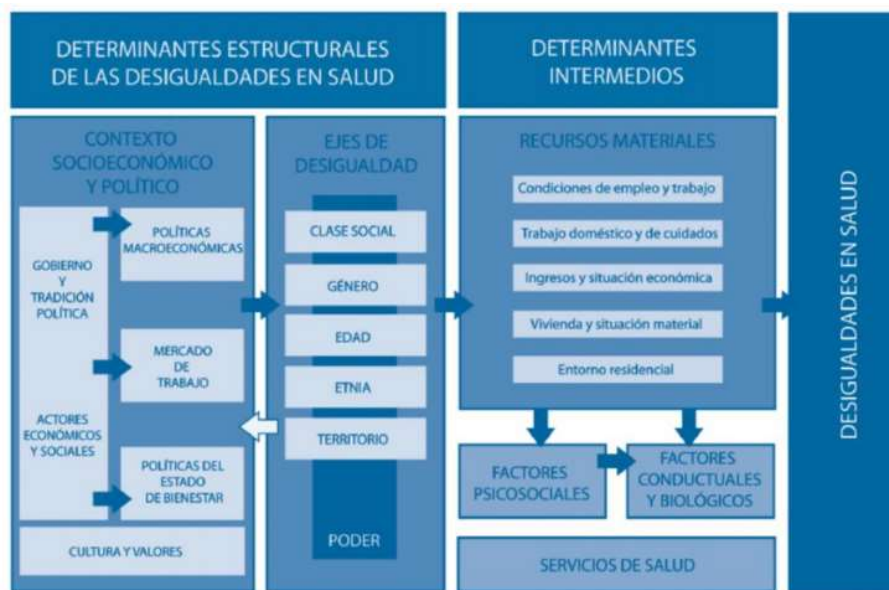


Figura 4. Marco conceptual de los determinantes de las desigualdades sociales (Ministerio de Sanidad, MITECO, 2021).

A estos factores se les pueden añadir otros como índices de criminalidad en la zona de residencia, ruido o desestructuración familiar típicos en las zonas de bajo NSE e influyen negativamente en los resultados de las personas que lo sufren. Las personas con NSE bajo son más vulnerables a factores estresantes (Pratt et al., 2015), por ejemplo, los niños y niñas de edad escolar de bajo NSE que deben cumplir con mayor número de obligaciones familiares tienen mayor riesgo de padecer ataques de asma,

esto no ocurre en niños y niñas de alto NSE, esto se asocia al estrés y aumento de conflictos familiares que deteriora la salud física y mental (Lam PH et al., 2018). La discriminación, racismo, marginación, exposición a la violencia de los indígenas australianos pueden dar lugar a estrés crónico que favorezca la aparición de la enfermedad (Cunningham, 2010). Por ello, existe una asociación positiva entre la pobreza y los índices de prevalencia y morbilidad del asma. La evidencia no es casualidad si el patrón es constante (Antó, 2012).

Una de las importantes razones por las que la incidencia y prevalencia del asma está relacionada con un NSE bajo, es porque este también se relaciona con una peor calidad del aire en el lugar de residencia familiar, centro escolar o lugar de trabajo. Los mapas de distribución que permiten asociar factores como renta familiar, desempleo o abandono escolar con niveles de concentración de contaminantes atmosféricos han dado como resultado una relación positiva con evidencias claras. Sin embargo, la dificultad que presentan estos estudios es la capacidad de comparar ciudades con diferentes distribuciones y dinámicas poblacionales (Temam et al., 2017).

En parte la exposición a niveles altos de contaminantes se puede explicar por la tendencia de personas con bajo NSE de vivir en el centro de la ciudad dónde hay más densidad de población, peores condiciones ambientales por cercanía a grandes arterias de transporte y/o mala circulación del aire en las que hay viviendas más baratas y más asequibles económicamente contra la tendencia de personas con NSE alto de vivir en lugares con zonas verdes, mejor calidad de vida y ambiental y menor densidad (Temam et al., 2017).

El otro modelo de ciudad que se analiza en estos estudios es dónde las personas con bajo NSE residen en los barrios periféricos lejos de la contaminación del transporte urbano del centro de la ciudad y núcleos densamente poblados. Aun así, las exposiciones medias a los contaminantes para estas personas siguen siendo elevadas por la exposición a otros focos contaminantes como zonas industriales o incineradoras. La explicación se da porque las áreas contaminadas suelen tener menores precios de venta que se puedan permitir, de este modo también atraen a estas prácticas contaminantes adicionales como construcción de carreteras o complejos industriales (Flanagan et al., 2019).

En los centros de las metrópolis la temperatura ambiente, los contaminantes y la densidad de carreteras es mayor que en las afueras y, si se le suma un escaso nivel educativo relacionado a un menor número de recursos para abordar la enfermedad, el riesgo de sufrir asma crece (Norbäck et al., 2018; Basagaña et al., 2004).

El estudio de Sabel et al., (2013) ubicado en Estrasburgo, Francia resalta el hecho de cómo vivir en un barrio o en otro puede influir en la salud individual de la persona ya que los vecindarios no están limitados por fronteras físicas, sino sociales. En concreto se centra en el gradiente social de la prevalencia e incidencia del asma. El estudio crea un modelo experimental de zonas homogéneas de residencia dónde se demuestra que la importancia de la construcción cuidadosa de vecindarios disipa las diferencias de salud entre ellos.

Ya visto que la relación entre el NSE y la exposición a contaminantes atmosféricos es un hecho, lo más lógico es que el NSE tomado como factor de riesgo, sea determinante en el aumento de la incidencia y prevalencia del asma. En la Tabla 2 se muestran los estudios que correlacionan el NSE y el asma.

Tabla 4.2. Estudios que relacionan el asma con el nivel socioeconómico.

Autor, año, país	Tipo de estudio y objetivo	Sujetos y origen	Medida de resultados	Conclusión y/o limitaciones
Basagaña et al., 2004, Europa, Australia, Nueva Zelanda y Estados Unidos	Estudio descriptivo transversal. Evaluar la asociación entre la prevalencia del asma y el NSE a nivel individual y de centro simultáneamente.	10.971 sujetos de 20 a 44 años de 32 centros de 15 países seleccionados aleatoriamente de la población general.	Se comenzó el estudio entrevistando a los sujetos entre 1991-1992 sobre su estilo de vida, asma, alergias y medioambiente. La información sobre el NSE fue obtenida a través del cuestionario. Las asociaciones fueron obtenidas usando variables multinivel.	En lo que concierne a la representación de la población de estudio, se asoció una mayor prevalencia del asma a los sujetos de menor NSE debido a exposiciones en el modo de vida pasadas. El nivel educacional también pudo ser correlacionado con un NSE bajo.

Norbäck et al., 2018, China.	Estudio de cohorte retrospectivo. El objetivo principal fue estudiar las asociaciones entre el asma, la rinitis y los síntomas respiratorios actuales entre los niños en edad preescolar en China y la exposición seleccionada en interiores y exteriores y los indicadores del estado socioeconómico (NSE) en modelos mutuamente ajustados.	39.782 niños y niñas de 3-6 años seleccionados aleatoriamente de centros de día de las ciudades de Urumqi, Beijing, Taiyuan, Nanjing, Shanghai, Chongqing y Ghangsha, en China.	Se comenzó por un cuestionario distribuido a los padres. Los datos de exposición a contaminantes fueron obtenidos de la web Weather Underground y National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. Los indicadores de NSE se obtuvieron mediante el cuestionario y el PIB con la media a nivel de ciudad. Se utilizó una regresión logística multinivel para asociar las variables.	Las sibilancias en el asma podrían ser exacerbadas a causa de un NSE bajo. También vivir en ambiente más cálido, mayor humedad, mayor exposición a contaminantes atmosféricos, familias mayores de 5 miembros e ingresos per cápita más altos podrían influir en el desarrollo de la enfermedad.
Cunningham, 2010, Australia.	Estudio transversal. Examinar la relación entre los indicadores de nivel socioeconómico y el asma y comparar los resultados entre la población indígena y no indígena adulta.	5.417 indígenas y 15.432 no indígenas australianos de entre 18-64 años entre 2004-2005 del National Aboriginal and Torres Strait Islander Health Survey y del National Health Survey.	Los datos del estilo de vida y NSE fueron recogidos mediante una entrevista o cuestionario. El análisis estadístico fue realizado mediante el programa STATA versión 10.0	El asma no es un problema de gran preocupación entre los indígenas australianos, aun así, estos pueblos sufren la enfermedad de manera desproporcionada en un claro ejemplo de las desventajas en de acceso a salud.
Assari, Lankarani, 2018, Estados Unidos.	Estudio transversal. Comparar la asociación al asma en familias por encima y por debajo de la línea de pobreza.	86,537 niños y niñas de 0-17 años, 76.403 de familias blancas y 10.134 de familias negras de California, Estados Unidos.	Se realizó una entrevista llamando a números de teléfono aleatorios de familias con al menos un hijo menor de 18 años. La persona entrevistada fue el adulto con más conocimiento sobre la salud y el bienestar del niño y otras cuestiones sobre las variables del estudio entre enero de 2003 y julio de 2004. Se tomaron como variables la raza, el estatus de salud, el NSE de los padres, la edad y el género. Se utilizó el programa estadístico Stata versión 13.0 para el análisis de los datos.	Se demostró una asociación entre NSE bajo y la incidencia del asma sobre todo en familias negras. El NSE es contribuyente a las disparidades raciales de salud en EE. UU. Los datos analizados mediante un estudio longitudinal darían resultados más fiables.

Beck-Sague et al., 2018, Estados Unidos.	Estudio transversal. Evaluar la tendencia entre disparidades étnicas y raciales y el asma infantil entre 2005 y 2013.	13.583 estudiantes menores de 18 años pacientes del servicio de urgencias de Miami desde 2006 a 2012.	Se utilizaron los datos del Sistema de Vigilancia del Conductas de riesgo juvenil, de las tasas de utilización y hospitalización del departamento de emergencias distribuidas por código postal para los datos de incidencias asmáticas y características sociodemográficas como la etnia. Estas etnias se dividieron entre niños y niñas blancos, afroamericanos, hispanicos, asiáticos e indios americanos/nativos de Alaska. El análisis estadístico fue efectuado con el programa Epi Info 3.5.4	El asma infantil es un problema creciente en Miami, particularmente para los niños y niñas con ascendencia afroamericana que representan el 30% de la población de estudio. El aumento de las visitas por asma ocurre por la falta de ayuda médica.
Lam PH et al., 2018, Estados Unidos.	Investigar como cumplir las obligaciones familiares se asocia con la aparición del asma en jóvenes, y cómo esas asociaciones dependen del NSE familiar.	172 participantes escogidos del área metropolitana de Chicago a través del North Shore University Health System y del Erie Family Health Center de 8 a 17 años que hayan sido diagnosticados con asma y se haya informado de la frecuencia de las obligaciones familiares.	Los padres de los jóvenes comenzaron dando parte de sus obligaciones e ingresos familiares. Los jóvenes completaron un control de medida del asma y un control de medida de inflamación de las vías aéreas. Para el análisis estadístico se llevó a cabo un modelo de regresión	El estudio sugiere que los jóvenes de menor NSE que deben participar en las obligaciones familiares más frecuentemente pueden tener repercusiones negativas en el asma.

En el artículo de Basagaña et al., (2004) se demuestra como la prevalencia del asma es mayor en adultos con nivel académico y NSE bajo. Para estos, se obtuvo una probabilidad de hasta un 39% más de incidencia por dependiendo del lugar de residencia y un 28% más de probabilidad padecer asma. Una de las explicaciones a la que se le da importancia en este y en otros estudios como Cunningham (2010) es la falta de tratamiento y diagnóstico apropiado para la enfermedad. Dentro del ambiente familiar otros factores como las obligaciones diarias influyen, en los resultados de Lam PH et al. (2018) se encontró una asociación significativa entre la interacción del NSE y las obligaciones familiares con el aumento de ataques de asma, además de un notable deterioro en la salud mental. En familias con NSE alto no fue posible relacionar las obligaciones familiares con las exacerbaciones del asma.

En el estudio de Norbäck et al., (2018) más de la mitad de los niños y niñas implicados están influenciados por agentes externos como tabaquismo pasivo, moho y cercanía a grandes carreteras independientemente del NSE. Entre los contaminantes utilizados en este estudio solo se observaron asociaciones importantes para el NO₂ por lo que fue el contaminante utilizado. El asma resultó ser más común en niños y niñas cuyas madres no trabajaron durante el embarazo y menos común si estos habitaban en áreas suburbanas y rurales lejos de los centros altamente poblados y contaminados. Hay que destacar en este estudio que el asma se desarrolló más en hogares más grandes asociados a rentas parentales más altas y, por lo tanto, de mayor NSE.

Los resultados obtenidos por Cunningham (2010) concluyeron que el 27,5% de la población indígena había sido diagnosticada con asma frente al 20,6% de la población no indígena. El 16,2% de las personas indígenas tenían asma en la actualidad mientras que para personas no-indígenas este porcentaje es del 9,9%. En ambas poblaciones descendió el número de episodios con la edad, a partir de los 45 años los episodios en personas no indígenas se estabilizaron, pero aumentaron en la población indígena.

Assari y Lankarani, (2018) obtuvieron dos hallazgos. El primero fue encontrar un gradiente económico en la salud infantil. El segundo es que la asociación entre un alto NSE y la prevalencia del asma fue negativa tanto para familias blancas como para negras, aun así, la asociación fue algo más alta para las familias negras. Esto último se debe a que las familias negras con alto nivel educativo tenían mayor riesgo de residir en la pobreza que las familias blancas. Resultados similares se obtienen en el estudio de Beck-Sague et al., (2018) donde se demuestra como el porcentaje más alto de prevalencia del asma es del grupo de Afroamericanos con un 25%, mientras que para el resto de las etnias está en torno al 20%. Entre 2005 y 2013 la prevalencia del asma descendió para los no hispanicos blancos desde el 16,2% hasta el 12%, mientras que para los afroamericanos y los hispanicos aumentó el porcentaje de prevalencia asmática del 17,2% al 27,9% y del 16,4% al 20,9% respectivamente. Esto concuerda con el NSE de las personas afroamericanas ya que el 54,5% de su población entrevistada entraban en el rango de alta pobreza.

5. Discusión y conclusión

Son miles los artículos científicos que están dedicados al estudio del asma, la dificultad de esta revisión ha sido contrastarlos pues la mayoría se centran en lugares cuyas dinámicas poblacionales difieren. Esto condiciona y da lugar a resultados no concluyentes por lo que durante el proceso de selección bibliográfica sobre el NSE muchos de los estudios tuvieron que ser descartados.

La interferencia de los factores de confusión en los resultados también ha jugado un papel importante, era necesario conocer el grado en el que estos pueden hacer variar los resultados, evaluándose mediante un análisis de sensibilidad. Los estudios que no incluían este procedimiento tuvieron que ser descartados. Asimismo, la variación de los factores de riesgo que pueden afectar a los grupos de edad es una de las principales razones por la que la mayoría de los estudios se centran en estudiar un único grupo. Además, se añade la dificultad de tratar con grandes grupos de población en el que se incluyen todas las edades y la complicación de conseguir una muestra suficientemente representativa ya que supone grandes limitaciones económicas y temporales. Estos criterios condicionaron la búsqueda de estudios y consecuentemente redujeron su número, encontrándose los que se han aportado en este análisis.

Diversos estudios exponen la existencia de una relación positiva entre el asma y los contaminantes atmosféricos, aunque el efecto entre contaminantes concretos como el NO₂, el O₃ o las partículas finas no siempre se demuestra. Estas discrepancias suelen ir relacionadas con las diferentes dinámicas poblacionales y la exposición a la que estén sujetos por ello. Aun así, se deja en claro como todos los grupos de edad sufren efectos por la contaminación atmosférica, en especial los niños y niñas de 0-18 años que resultaron ser los más susceptibles y cuyas incidencias hospitalarias se acrecentaban a medida que la concentración de contaminantes aumentaba. En el caso de los grupos de edad de 19-55 años y +55 años no se producía un aumento tan pronunciado de casos ante los aumentos en las concentraciones. Hay que resaltar que, aunque los mayores de +55 años hayan obtenido la tasa de incidencia más baja, cuando se produce un episodio por asma, conllevaba peores efectos en la salud en comparación con los grupos de edad de 0-18 y 19-55 años como ingresos a la UCI o defunción.

Respecto al nivel socioeconómico, todos los estudios coinciden en que desde distintos aspectos ya sea el color de piel, la renta familiar, el nivel educativo o un ambiente familiar estresante, las personas con NSE bajo tendrían más probabilidad de padecer asma. En este aspecto la forma de organización territorial urbana da lugar a discrepancias entre resultados por lo que es una cuestión importante que debe estudiarse con mayor profundidad ya que muchos artículos fueron descartados por resultados inconcluyentes.

A medida que los avances en investigación dejen cada vez más clara la relación entre los dos factores estudiados y el asma, se conseguirá mostrar la necesidad de endurecer las políticas que regulen los umbrales máximos permitidos sobre emisiones a la atmósfera. El desarrollo científico en este ámbito también traerá consigo la concienciación sobre la importancia de la organización territorial y la creación de comunidades donde las desigualdades ambientales no afecten a los grupos de población con menor nivel socioeconómico. En cualquier caso, el control de la contaminación atmosférica es indispensable para el cuidado de la salud de todos los seres vivos y el medioambiente.

6. Bibliografía

- Alhanti, B.A., Chang, H.H., Winquist, A., Mulholland, J.A., Darrow, L.A. & Sarnat, S.E. 2016, "Ambient air pollution and emergency department visits for asthma: A multi-city assessment of effect modification by age", *Journal of exposure science & environmental epidemiology*, vol. 26, no. 2, pp. 180-188.
- Altzibar, J.M., Tamayo-Uria, I., De Castro, V., Aginagalde, X., Albizu, M.V., Lertxundi, A., Benito, J., Busca, P., Antepará, I., Landa, J., Mokoroa, O. & Dorronsoro, M. 2015, "Epidemiology of asthma exacerbations and their relation with environmental factors in the Basque Country", *Clinical and experimental allergy*, vol. 45, no. 6, pp. 1099-1108.
- Andersen, Z.J., Bønnelykke, K., Hvidberg, M., Jensen, S.S., Ketzel, M., Loft, S., Sørensen, M., Tjønneland, A., Overvad, K. & Raaschou-Nielsen, O. 2012, *Long-term exposure to air pollution and asthma hospitalisations in older adults: a cohort study*.

- Antó, J.,M. 2012, "Recent Advances in the Epidemiologic Investigation of Risk Factors for Asthma: A Review of the 2011 Literature", *Current allergy and asthma reports*, vol. 12, no. 3, pp. 192-200.
- Assari, S. & Lankarani, M.M. 2018, "Poverty Status and Childhood Asthma in White and Black Families: National Survey of Children's Health", *Healthcare (Basel)*, vol. 6, no. 2, pp. 62.
- Basagaña, X., Sunyer, J., Kogevinas, M., Zock, J., Duran-Tauleria, E., Jarvis, D., Burney, P. & Anto, J.M. 2004, "Socioeconomic status and asthma prevalence in young adults: The European community respiratory health survey", *American Journal of Epidemiology*, vol. 160, no. 2, pp. 178-188.
- Beasley, R., Prof, Semprini, A., M.B.B.S. & Mitchell, E.A., Prof 2015, "Risk factors for asthma: is prevention possible?", *The Lancet (British edition)*, vol. 386, no. 9998, pp. 1075-1085.
- Beck-Sague, C., Arrieta, A., Pinzon-Iregui, M., Ortiz, B., Dean, A.G., Cuddihy, A. & Gasana, J. 2018, "Trends in Racial and Ethnic Disparities in Childhood Asthma in Miami, Florida: 2005–2013", *Journal of immigrant and minority health*, vol. 20, no. 6, pp. 1429-1437.
- Bjerg, A., Sandström, T., Lundbäck, B. & Rönmark, E. 2010, "Time trends in asthma and wheeze in Swedish children 1996–2006: prevalence and risk factors by sex", *Allergy (Copenhagen)*, vol. 65, no. 1, pp. 48-55.
- Cunningham, J. 2010, "Socioeconomic status and self-reported asthma in Indigenous and non-Indigenous Australian adults aged 18-64 years: Analysis of national survey data", *International journal for equity in health*, vol. 9, no. 1, pp. 18.
- Dougherty, R.H. & Fahy, J.V. 2009, "Acute exacerbations of asthma: epidemiology, biology and the exacerbation-prone phenotype", *Clinical and Experimental Allergy*, vol. 39, no. 2, pp. 193-202.
- Esposito, S., Galeone, C., Lelii, M., Longhi, B., Ascolese, B., Senatore, L., Prada, E., Montinaro, V., Malerba, S., Patria, M.F. & Principi, N. 2014, "Impact of air pollution on respiratory diseases in children with recurrent wheezing or asthma", *BMC pulmonary medicine*, vol. 14, no. 1, pp. 130.

- Ferrante, G. & La Grutta, S. 2018, "The Burden of Pediatric Asthma", *Frontiers in pediatrics*, vol. 6, pp. 186.
- Flanagan, E., Stroh, E., Oudin, A. & Malmqvist, E. 2019, "Connecting Air Pollution Exposure to Socioeconomic Status: A Cross-Sectional Study on Environmental Injustice among Pregnant Women in Scania, Sweden", *International journal of environmental research and public health*, vol. 16, no. 24, pp. 5116.
- Goodman, J.E., Loftus, C.T., Liu, X. & Zu, K. 2017, "Impact of respiratory infections, outdoor pollen, and socioeconomic status on associations between air pollutants and pediatric asthma hospital admissions", *PloS one*, vol. 12, no. 7, pp. e0180522.
- Kellerová Daniela & Rastislav Janík 2014, "Analysis of ambient ozone in a foothill area in the Western Carpathians", *Folia oecologica*, vol. 41, no. 2, pp. 146.
- Ko, F.W.S., Tam, W., Wong, T.W., Lai, C.K.W., Wong, G.W.K., Leung, T.-., Ng, S.S.S. & Hui, D.S.C. 2007, "Effects of air pollution on asthma hospitalization rates in different age groups in Hong Kong", *Clinical and experimental allergy*, vol. 37, no. 9, pp. 1312-1319.
- Lam PH, Levine CS, Chiang JJ, Shalowitz MU, Story RE, Hayen R, Sinard RN, Chen E. Family obligations and asthma in youth: The moderating role of socioeconomic status. *Health Psychol.* 2018 Oct;37(10):968-978. doi: 10.1037/hea0000655. PMID: 30234356; PMCID: PMC6209512.
- Lisbona, C.F. & Hamnett, H.J. 2018, "Epidemiological Study of Carbon Monoxide Deaths in Scotland 2007–2016", *Journal of forensic sciences*, vol. 63, no. 6, pp. 1776-1782
- Liu, S., Lim, Y., Pedersen, M., Jørgensen, J.,T., Amini, H., Cole-Hunter, T., Mehta, A.J., So, R., Mortensen, L.H., Westendorp, R.G.J., Loft, S., Bräuner, E.,V., Ketznel, M., Hertel, O., Brandt, J., Jensen, S.S., Christensen, J.H., Sigsgaard, T., Geels, C., Frohn, L.M., Brborić, M., Radonić, J., Sekulic, M.T., Bønnelykke, K., Backalarz, C., Simonsen, M.K. & Andersen, Z.J. 2021, "Long-term exposure to ambient air pollution and road traffic noise and asthma incidence in adults: The Danish Nurse cohort", *Environment international*, vol. 152, pp. 106464

- Soler M.R., Gámez P. & Olid, M. 2015, "ARAMIS a regional air quality model for air pollution management: evaluation and validation", *Física de la tierra*, vol. 27, pp. 111.
- Mazenq, J., Dubus, J., Gaudart, J., Charpin, D., Nougairede, A., Viudes, G. & Noel, G. 2017, "Air pollution and children's asthma-related emergency hospital visits in southeastern France", *European journal of pediatrics*, vol. 176, no. 6, pp. 705-711.
- Medina, S., Plasencia, A., Ballester, F., Mücke, H.G. & Schwartz, J. 2004, "Aphis: public health impact of PM₁₀ in 19 European cities", *Journal of epidemiology and community health (1979)*, vol. 58, no. 10, pp. 831-836.
- Mikalsen, I.B., Skeiseid, L., Tveit, L.M., Engelsvold, D.H. & Øymar, K. 2015, "Decline in admissions for childhood asthma, a 26-year period population-based study", *Pediatric allergy and immunology*, vol. 26, no. 8, pp. 750-755.
- Ministerio de Sanidad & MITECO 2021, Plan Estratégico de Salud y Medioambiente.
- MITECO 2019, Monóxido de carbono. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/monoxido-carbono.aspx>.
- United States Environmental Protection Agency, EPA 2008, , National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). Available: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaq-table#3>.
- Norbäck, D., Lu, C., Wang, J., Zhang, Y., Li, B., Zhao, Z., Huang, C., Zhang, X., Qian, H., Sun, Y., Sundell, J. & Deng, Q. 2018, "Asthma and rhinitis among Chinese children — Indoor and outdoor air pollution and indicators of socioeconomic status (SES)", *Environment international*, vol. 115, pp. 1-8.
- Nordeide Kuiper, I., Svanes, C., Markevych, I., Accordini, S., Bertelsen, R.J., Bråbäck, L., Heile Christensen, J., Forsberg, B., Halvorsen, T., Heinrich, J., Hertel, O., Hoek, G., Holm, M., de Hoogh, K., Janson, C., Malinowski, A., Marcon, A., Miodini Nilsen, R., Sigsgaard, T. & Johannessen, A. 2021, "Lifelong exposure

- to air pollution and greenness in relation to asthma, rhinitis and lung function in adulthood", *Environment international*, vol. 146, pp. 106219.
- Olaya-Ochoa, J., Ovalle Muñoz, D.P. & Urbano León, C.L. 2017, "Acerca de la estimación de la fracción PM_{2.5}/ PM₁₀", *Dyna (Medellín, Colombia)*, vol. 84, no. 203, pp. 343-348.
- OMS 2021, , Organización Mundial de la Salud, Departamento de Salud Pública, Medio Ambiente y Determinantes Sociales de la Salud. Available: https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/es/.
- Organización Mundial de la Salud 2005, , Calidad del aire y salud. Available: [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).
- Organización Mundial de la Salud 2021, , *Enfermedades respiratorias crónicas*. Available: <https://www.who.int/respiratory/asthma/es/>.
- Ortega-García, J.A., Martínez-Hernández, I., Boldo, E., Cárceles-Álvarez, A., Solano-Navarro, C., Ramis, R., Aguilar-Ros, E., Sánchez-Solis, M. & López-Hernández, F. 2020, "Urban air pollution and hospital admissions for asthma and acute respiratory disease in Murcia city (Spain)", *Anales de Pediatría*, vol. 93, no. 2, pp. 95-102.
- Park, M., Luo, S., Kwon, J., Stock, T.H., Delclos, G., Kim, H. & Yun-Chul, H. 2013, "Effects of air pollution on asthma hospitalization rates in different age groups in metropolitan cities of Korea", *Air quality, atmosphere and health*, vol. 6, no. 3, pp. 543-551.
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea 2008, DIRECTIVA 2008/50/CE .
- Pratt, G.C., Vadali, M.L., Kvale, D.L. & Ellickson, K.M. 2015, "Traffic, air pollution, minority and socio-economic status: addressing inequities in exposure and risk", *International journal of environmental research and public health*, vol. 12, no. 5, pp. 5355-5372.
- Ruijsbroek, A., Wijga, A.H., Kerkhof, M., Koppelman, G.H., Smit, H.A. & omers, M. 2011, "The development of socio-economic health differences in childhood:

- results of the Dutch longitudinal PIAMA birth cohort", *BMC public health*, vol. 11, no. 1, pp. 225.
- Sabel, C.E., Kihal, W., Bard, D. & Weber, C. 2013, "Creation of synthetic homogeneous neighbourhoods using zone design algorithms to explore relationships between asthma and deprivation in Strasbourg, France", *Social science & medicine (1982)*, vol. 91, pp. 110-121.
- Sousa, S.I.V., Alvim-Ferraz, M. & Martins, F.G. 2013, "Health effects of ozone focusing on childhood asthma: What is now known – a review from an epidemiological point of view", *Chemosphere (Oxford)*, vol. 90, no. 7, pp. 2051-2058.
- Silverman, R.A., M.D. & Ito, K., PhD. 2010, "Age-related association of fine particles and ozone with severe acute asthma in New York City", *Journal of allergy and clinical immunology*, vol. 125, no. 2, pp. 367-373.e5.
- Stern, J., Pier, J. & Litonjua, A.A. 2020, "Asthma epidemiology and risk factors", *Seminars in immunopathology*, vol. 42, no. 1, pp. 5-15.
- Stieb, D.M., Berjawi, R., Emode, M., Zheng, C., Salama, D., Hocking, R., Lyrette, N., Matz, C., Lavigne, E. & Shin, H.H. 2021, "Systematic review and meta-analysis of cohort studies of long term outdoor nitrogen dioxide exposure and mortality", *PLoS one*, vol. 16, no. 2, pp. e0246451.
- Temam, S., Burte, E., Adam, M., Antó, J.,M., Basagaña, X., Bousquet, J., Carsin, A., Galobardes, B., Keidel, D., Künzli, N., Le Moual, N., Sanchez, M., Sunyer, J., Bono, R., Brunekreef, B., Heinrich, J., de Hoogh, K., Jarvis, D., Marcon, A., Modig, L., Nadif, R., Nieuwenhuijsen, M., Pin, I., Siroux, V., Stempfelet, M., Tsai, M., Probst-Hensch, N. & Jacquemin, B. 2017, "Socioeconomic position and outdoor nitrogen dioxide (NO₂) exposure in Western Europe: A multi-city analysis", *Environment international*, vol. 101, pp. 117-124.
- Tsai, Chu-Lin,M.D., ScD., Lee, Wen-Ya,M.S., M.P.H., Hanania, Nicola A.,M.D., M.S. & Camargo, Carlos A.,M.D., DrP.H. 2012, "Age-related differences in clinical outcomes for acute asthma in the United States, 2006-2008", *Journal of allergy and clinical immunology*, vol. 129, no. 5, pp. 1252-1258.e1.

Weinmayr, G., Romeo, E., de Sario, M., Weiland, S.K. & Forastiere, F. 2010, "Short-Term Effects of PM₁₀ and NO₂ on Respiratory Health among Children with Asthma or Asthma-like Symptoms: A Systematic Review and Meta-Analysis", *Environmental health perspectives*, vol. 118, no. 4, pp. 449-457.

Weschler, C.J. 2006, "Ozone's Impact on Public Health: Contributions from Indoor Exposures to Ozone and Products of Ozone-Initiated Chemistry", *Environmental health perspectives*, vol. 114, no. 10, pp. 1489-1496.

Wu, Y., Li, R., Cui, L., Meng, Y., Cheng, H. & Fu, H. 2020, "The high-resolution estimation of sulfur dioxide (SO₂) concentration, health effect and monetary costs in Beijing", *Chemosphere (Oxford)*, vol. 241, pp. 125031.

7. Anexos

Anexo1. Tablas con valores máximos permitidos según diversas instituciones.

Tabla 7.1. Directrices de la OMS sobre la calidad del aire, valores límite recomendados (Organización Mundial de la Salud, 2005).

	Media anual	Media en 24h	Media en 8h	Media en 1h	Media en 10 min
Ozono (O₃)	-	-	100 µg/m ³	-	-
Dióxido de nitrógeno (NO₂)	40 µg/m ³	-	-	200 µg/m ³	-
Dióxido de azufre (SO₂)	-	20 µg/m ³	-	-	500 µg/m ³
Partículas finas (PM_{2.5})	10 µg/m ³	25 µg/m ³	-	-	-
Partículas gruesas (PM₁₀)	20 µg/m ³	50 µg/m ³	-	-	-

Tabla 7.2. National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) (United States Environmental Protection Agency, EPA, 2008).

	Media anual	Media en 24h	Media en 8h	Media en 3 h	Media en 1h
Ozono (O₃)	-	-	0.070 ppm	-	-
Dióxido de nitrógeno (NO₂)	53 ppb	-	100 ppb	-	-

Dióxido de azufre (SO₂)	-	-	-	0.5 ppm	75 ppb
Partículas finas (PM_{2.5})	12.0 µg/ m ³	35 µg/ m ³	-	-	-
Partículas gruesas (PM₁₀)	-	150 µg/ m ³	-	-	-

Tabla 7.3. Anexo II de la DIRECTIVA 2008/50/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO para la determinación de los requisitos de evaluación de las concentraciones de los siguientes contaminantes para la Unión Europea. (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2008).

	Media anual	Media 24 h	Media 1 h
Ozono (O₃)	-	120 µg/m ³ : no podrá superarse más de 25 días por año civil, promediados en un período de tres años (3)	-
Dióxido de nitrógeno (NO₂)	80 % del valor límite (32 µg/m ³)	-	70 % del valor límite (140 µg/m ³ , que no podrá superarse más de 18 veces por año civil)
Dióxido de azufre (SO₂)	-	125 µg/m ³ , que no podrá superarse más de 3 veces por año civil.	350 µg/m ³ , que no podrá superarse más de 24 veces por año civil
Partículas finas (PM_{2.5})	70 % del valor límite (17 µg/ m ³)	-	-
Partículas gruesas (PM₁₀)	70 % del valor límite (28 µg/ m ³)	70 % del valor límite (35 µg/ m ³ , que no podrá superarse más de 35 veces por año civil)	-