



**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**  
**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS**  

---

**GRADO EN GEOGRAFÍA Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO**



**TRABAJO FIN DE GRADO**

**Directores: Domingo Fernando Rasilla Álvarez y Pablo Fernández  
de Arróyabe Hernáez**

**Curso 2020/2021**

**INVERSIONES TÉRMICAS, CALIDAD DEL AIRE E INGRESOS  
HOSPITALARIOS POR ASMA EN LA COMUNIDAD DE MADRID.  
PERIODO 2009-2015**

**TEMPERTURE INVERSIONS, AIR QUALITY AND HOSPITAL ADMISSIONS  
FOR ASTHMA IN THE AUTONOMOUS COMMUNITY OF MADRID, 2009-  
2015**

**MARÍA GAITE FOX**

Junio 2021

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>5</b>
1.1	LAS INVERSIONES TÉRMICAS.....	6
1.2	EL ASMA .....	11
1.3	LA COMUNIDAD DE MADRID.....	12
1.3.1	Características climatológicas .....	14
1.3.2	El Sistema Madrileño de Salud (SERMAS).....	15
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>FUENTES Y METODOLOGÍA</b> .....	<b>17</b>
3.1	FUENTES DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA .....	17
3.2	FUENTES DE INFORMACIÓN SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE.....	18
3.3	FUENTES DE INFORMACIÓN SOBRE INGRESOS HOSPITALARIOS.....	19
3.4	METODOLOGÍA .....	19
3.4.1	Análisis demográfico.....	19
3.4.2	Definición y caracterización de las inversiones térmicas.....	20
3.4.3	Caracterización temporal y climatológica de las ITs.....	20
3.4.4	Calidad del aire e ITs.....	20
3.4.5	ITs, calidad del aire e ingresos hospitalarios por asma.....	21
3.4.6	Análisis estadísticos .....	21
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>22</b>
4.1	INGRESOS HOSPITALARIOS POR ASMA EN LA COMUNIDAD DE MADRID .....	22
4.2	INVERSIONES TÉRMICAS EN EL PERIODO .....	24
4.3	CARACTERIZACIÓN DE LAS ITs.....	26
4.4	CALIDAD DEL AIRE E ITs .....	30
4.5	ITs, CALIDAD DEL AIRE E INGRESOS HOSPITALARIOS POR ASMA.....	36
<b>5</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>43</b>
<b>7</b>	<b>ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS</b> .....	<b>44</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>46</b>

## Resumen

Este estudio investiga la relación entre las inversiones térmicas persistentes y los ingresos hospitalarios por asma en la Comunidad de Madrid entre 2009 y 2015. Para ello, se ha combinado información procedente de diversas fuentes. La de carácter meteorológico, obtenida de los observatorios de Navacerrada y Barajas incluía temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y número de horas de luz solar. Los datos sobre contaminantes ambientales, incluyendo NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y partículas (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), se obtuvieron del Ayuntamiento de Madrid. Los datos sobre los ingresos hospitalarios se extrajeron del Conjunto Mínimo Básico de Datos (CMBD), correspondientes al código identificativo 493 (asma) de la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-9), desagregada por sexo y grupos de edad. Se definió como inversión térmica persistente una racha de al menos 3 días consecutivos, en la que el gradiente vertical de la temperatura mínima fue superior a 0°C.

Los resultados muestran que hubo 25.024 ingresos hospitalarios por asma entre 2009 y 2015, siguiendo un patrón estacional, siendo más frecuentes durante el primer, segundo y cuarto trimestre. El grupo de edad más afectado fueron las mujeres de  $\geq 65$  años. Por su parte, durante el mismo periodo se registraron 17 episodios de inversión térmica persistente, acumulando un total de 108 días, concentrados en el primer y el cuarto trimestre. Las inversiones térmicas son, por tanto, un fenómeno frecuente en este entorno geográfico debido a una orografía favorable y al predominio de situaciones atmosféricas de gran estabilidad.

Las condiciones atmosféricas que acompañan a las inversiones favorecen la acumulación de contaminantes, ya que las concentraciones medias diarias de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> fueron mayores durante los días de inversión térmica persistentes, no así el O<sub>3</sub>. Estos contaminantes, a su vez, agravan los síntomas del asma, ya que se constató que las inversiones térmicas invernales persistentes se asociaron con mayores tasas de ingresos hospitalarios por asma en el grupo de  $\geq 65$  años. Como el efecto de los contaminantes puede retrasarse varios días, aumentando un día más la duración de la inversión persistente, se encontró una asociación significativa con los ingresos hospitalarios totales por asma.

Palabras clave: asma, ingreso hospitalario, inversión térmica.

## Summary

This study investigates the relationship between persistent temperature inversions and hospital admissions for asthma in the Autonomous Community of Madrid between 2009 and 2015. For such purpose, several databases were gathered. Meteorological information obtained from observatories of Navacerrada and Barajas Airport included temperature, humidity, wind speed and number of hours on sunlight. Data on outdoor pollutants including NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and particles (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>) were obtained from Madrid City Council. Data on hospital admissions were extracted from the Minimum Basic Data Set (MBDS), corresponding to 493 id code (asthma) in the International Classification of Diseases (ICD-9), disaggregated by gender and age. A persistent temperature inversion was defined when the vertical temperature gradient was greater than 0°C during at least 3 consecutive days.

Our results show that there were 25,024 hospital admissions for asthma from 2009 to 2015, following a seasonal pattern and being more frequent during the first, second and fourth quarter of the year. The most affected age group were women aged  $\geq 65$  years. During the same period, there were 17 episodes of persistent temperature inversions lasting 108 days, most of them during the first and fourth quarters of the year. Thus, persistent inversions are a frequent weather phenomenon in this geographical setting due to a favorable topography and predominance of atmospheric stability.

The atmospheric conditions that accompany inversions lead to an accumulation of pollutants, since average daily concentrations of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> (but not O<sub>3</sub>) were higher during days of persistent temperature inversions. Those higher-than-normal pollutant concentrations aggravate symptoms in asthmatic patients. Persistent temperature winter inversions were associated with increased rates of hospital admissions for asthma in the age group  $\geq 65$  years. As the effect of pollutants may be delayed several days, increasing one more day the duration of the inversion, a significative association with total hospital admissions for asthma was found.

Key words: asthma, hospital admission, temperature inversion.

## 1 INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica constituye un importante riesgo pues la atmósfera es una parte del ambiente con la que el organismo humano está en contacto permanente. Aunque existen evidencias de la emisión de grandes cantidades de sustancias contaminantes a la atmósfera en épocas precedentes (Lopez-Costas et al., 2020), es a partir de la Revolución Industrial cuando empiezan a constatar los efectos de los contaminantes sobre la salud con mayor intensidad pues desde principios del siglo XIX se produce un aumento de la actividad industrial y la concentración de la población en las ciudades. Uno de los primeros episodios de contaminación atmosférica se produjo, en diciembre de 1873, en la ciudad de Londres cuando una espesa nube de contaminación cubrió la ciudad.

Ya en el siglo XX, tras un suceso similar ocurrido en Glasgow se creó el término “smog” como una contracción de smoke-fog (humo y niebla). Posteriormente, en 1911 y 1930 se produjeron dos importantes incidentes en el valle del Mosa en Bélgica y el segundo afectó la salud de unas 6000 personas y provocó 63 muertes. El primer gran incidente por contaminación del aire en los Estados Unidos se produjo en Donora, Pensilvania, en octubre de 1948. La ciudad está situada en un valle y allí se ubicaban grandes plantas metalúrgicas y químicas. A consecuencia de las emisiones vertidas a la atmósfera y las circunstancias meteorológicas se acumularon los contaminantes, formando una espesa niebla. Se produjeron 20 fallecimientos y 1190 personas enfermaron (Jacobs et al., 2018). Se llevó a cabo una investigación minuciosa del episodio de contaminación atmosférica por parte del Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos y el Departamento de Salud de Pensilvania. En sus informes, se afirmaba que unas 5190 personas (casi 43% de la población) tuvieron algún tipo de problema de salud. Los principales fueron la irritación aguda del tracto respiratorio, del tracto digestivo y de la conjuntiva. El síntoma más frecuente que se presentó en el 33% de la población de Donora fue la tos. Entre las personas que enfermaron, al menos el 24% sufrieron síntomas graves y el 39% moderados (Helfand et al., 2001).

En 1952 otro importante desastre ambiental ocurrió en el Gran Londres. Entre el 5 y el 9 de diciembre una espesa niebla cargada de contaminantes procedente de las chimeneas de las viviendas y las plantas industriales, casi paralizó la ciudad por completo. Hubo un incremento del 48% en los ingresos hospitalarios con un 163% de incremento en los ingresos por enfermedad respiratoria. Poco tiempo después, el número de muertes fue significativamente más elevado de lo habitual. Un análisis retrospectivo puso de manifiesto

que se habían producido, al menos, 12.000 muertes más desde diciembre de 1952 a febrero de 1953 (Davis et al., 2002) y se notificaron problemas de salud similares a los descritos en el caso de Donora. Estas situaciones excepcionales se tradujeron en un aumento de la morbilidad y mortalidad, que no dejaron dudas acerca de que los niveles altos de contaminación atmosférica se asocian causalmente con un aumento de la morbilidad y la mortalidad. Por tanto, estas evidencias llevaron a la adopción de políticas de control de la contaminación, especialmente en Europa Occidental y en los Estados Unidos, que han contribuido una importante reducción de los niveles de contaminación atmosférica.

Aunque los niveles actuales de contaminación atmosférica en los países del mundo occidental pueden, en general, considerarse moderados, la preocupación acerca de sus posibles efectos en la salud de las personas persiste. Por un lado, en los últimos años un número importante de estudios realizados en distintas ciudades ha encontrado que, aún dentro de los niveles de calidad del aire considerados como seguros, pueden producirse incrementos de los niveles de la contaminación atmosférica que se asocian con efectos nocivos sobre la salud (Ballester Díez et al., 1999). Los citados episodios presentan unas características comunes: una topografía favorable a la acumulación de contaminantes, pues estos lugares estaban ubicados en valles profundos, y una condición de gran estabilidad atmosférica. En estas circunstancias cobra especial relevancia el estudio de las variaciones climatológicas, de las concentraciones de contaminantes y el efecto de las situaciones de “inversión térmica”.

## **1.1 LAS INVERSIONES TÉRMICAS**

La temperatura del aire experimenta cambios tanto en el sentido vertical como en el horizontal. Desde un punto de vista termodinámico la temperatura desciende con la altitud aproximadamente  $0,6^{\circ}\text{C}$  por cada 100 metros de ascensión y este es el concepto de **GRADIENTE TÉRMICO**. Por tanto, en condiciones normales, el aire de las capas inferiores de la atmósfera tiene mayor temperatura que el de las capas superiores y esto favorece el movimiento ascendente del aire desde las capas inferiores hacia las superiores. Puesto que la temperatura del aire disminuye con la altura en los primeros kilómetros de la atmósfera, el concepto de “inversión térmica” (IT) describe un comportamiento contrario al habitual, es decir, cuando se produce un aumento de la temperatura del aire con la altura (Figura 1.1). Una capa de la atmósfera con inversión térmica no permite movimientos ascendentes

de aire. Si una corriente de aire asciende irá encontrándose con aire cada vez más caliente y menos denso, por lo que perderá la fuerza ascendente y retornará su nivel de partida <sup>1</sup>.

Las IT son fenómenos naturales que pueden producirse en cualquier momento y día del año que no suponen un riesgo para la salud humana, aunque pueden convertirse en peligrosos en una zona urbana donde la capa de aire caliente favorece la concentración de contaminantes. Esta situación se agrava en presencia de masas de aire de alta presión que favorecen la persistencia de inversiones durante varios días. En estas condiciones, los contaminantes del aire se concentran cerca de la superficie, alcanzando valores perjudiciales para la salud humana. Es en los meses de otoño e invierno, cuando es más frecuente que el aire caliente forme una capa sobre las masas de aire frío cargadas de contaminantes manteniendo a éstos a nivel de la superficie de la tierra e impidiendo que se dispersen. En esos momentos se produce con mayor frecuencia el fenómeno de la inversión térmica que acrecienta los problemas contaminación en esa zona.

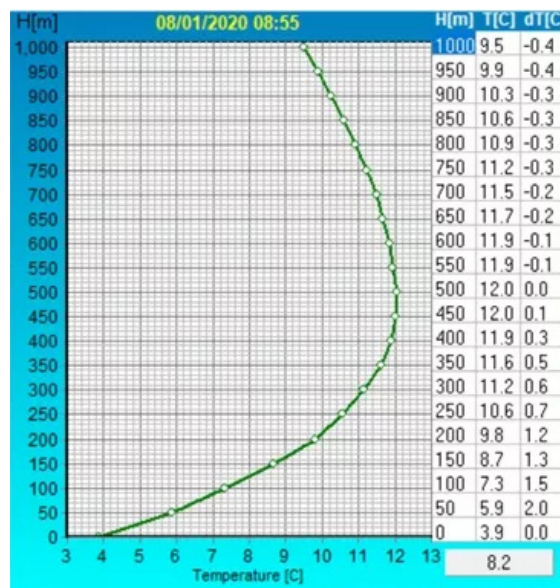


Figura 1.1. Perfil de temperatura correspondiente al día 8 de enero de 2020, en el que se aprecia el aumento de la temperatura del aire con la altura, típico del fenómeno de inversión térmica. Fuente: [http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/cal aire/SistemaIntegral/SistPrediccion/red\\_meteo.html](http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/cal aire/SistemaIntegral/SistPrediccion/red_meteo.html)

<sup>1</sup> ([https://meteoglosario.aemet.es/es/termino/1043\\_inversion-termica](https://meteoglosario.aemet.es/es/termino/1043_inversion-termica))

Existen diferentes tipos de inversiones térmicas:

- Las inversiones por *radiación* o nocturnas son las inversiones más frecuentes. Se producen como consecuencia de la diferencia de temperaturas existente en la superficie terrestre entre las horas diurnas y nocturnas. Durante el día el sol calienta la superficie terrestre por lo que las capas de aire próximas a ella tienen mayor temperatura. Al ir cayendo la noche la superficie terrestre emite calor en forma de radiación y se va enfriando. Las capas de aire situadas a un nivel más inferior también se enfrían y cuando alcanzan temperaturas inferiores a las de las capas de aire situadas a un nivel superior, se estabilizan. La capa de aire más cálida situada por encima impide los desplazamientos verticales. En la noche, al ir bajando la temperatura el aire frío se acumula en los niveles inferiores. Con el paso de las horas la inversión se intensifica y alcanza su mayor grado hacia el amanecer, cuando las temperaturas en la superficie son más bajas.
- Las inversiones *frontales* se forman cuando una capa de aire frío situado cerca del suelo pasa por debajo de una capa de aire más cálida y menos denso y lo desplaza hacia arriba. Este proceso de formación de una inversión suele ocurrir con el paso de un frente frío. También puede formarse una inversión frontal cuando una capa de aire relativamente cálida asciende por encima de una capa de aire más frío situado cerca de la superficie terrestre. Este fenómeno puede ocurrir con el paso de un frente cálido.
- La inversión *marina* es un tipo de inversión frecuente junto a la costa. Cuando el desplazamiento de aire marino hacia tierra adquiere suficiente intensidad, la niebla y las nubes bajas se desplazan hacia el interior de la costa.
- La inversión por *subsistencia* tiene lugar cuando se produce un descenso lento y un calentamiento de una masa de aire sobre una zona de la atmósfera. Esto tiene como consecuencia que la capa de aire actúa como una gran tapadera que impide la difusión de los contaminantes. La subsistencia es un proceso lento que puede ocurrir en el transcurso de varios días. Durante este período, la inversión por subsistencia se fortalece conforme se acerca al suelo y el aire se vuelve cada vez más cálido y seco que la capa de aire subyacente. Las cimas de las cadenas montañosas experimentan las condiciones cálidas y áridas típicas de una inversión por subsistencia antes que las zonas menos elevadas.



Debido a la localización de nuestra área de estudio en el centro de la Meseta Sur, la mayor parte de las inversiones térmicas se originan por la combinación de mecanismos de subsidencia desde las capas altas (sinópticos) y radiativos en las capas bajas (mesoescalares; (Sanchez et al., 2009).

Las inversiones térmicas se caracterizan por la debilidad de los movimientos horizontales y verticales de la atmósfera. La IT hace que el aire se comprima y como resultado sus componentes (partículas, polvo y/o pólenes) se concentran a pocos metros del suelo durante horas o incluso días y solamente al salir el sol y calentarse la superficie se llegan a dispersar. Este mecanismo propicia la existencia de periodos de altos valores de contaminación del aire, con los consiguientes posibles efectos nocivos para la salud humana (Evangelopoulos et al., 2021; Hassan Bhat et al., 2021; Yadav et al., 2021). En presencia de contaminantes atmosféricos la IT aparece como una “capa de smog” de color ocre debido a la presencia de óxidos de nitrógeno y partículas suspendidas (Enger y Smith, 2006) (Figura 1.2).

Su impacto en la salud resulta un tema de gran interés puesto que la calidad del aire se puede alterar por la presencia de una serie de sustancias que resultan nocivas para la salud. La contaminación medioambiental supone, por lo tanto, una concentración excesiva en la atmósfera de dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y las partículas en suspensión de tamaño inferior a  $2,5 \mu\text{m}$  y  $10 \mu\text{m}$ . Esta situación se da especialmente en invierno, cuando la estabilidad atmosférica derivada de la influencia de las altas presiones continentales, se acentúa por la presencia de episodios de inversión térmica que impiden los movimientos verticales de las masas de aire y favorecen el acúmulo de contaminantes.



Figura 1.2. Capa de “smog” con su color característico. Fuente: <https://salyroca.pUBLICO.es/articulo/vida-eco/boina-madrid-imagenes/20210118110335006735.html>.

La IT se vuelve un riesgo para la salud en una zona urbana debido a que la capa de aire caliente que cubre la región impide el desarrollo de corrientes de aire ascendentes que dispersen los contaminantes. Esta situación se agrava en presencia de masas de aire de alta presión que propician una inversión prolongada durante varios días. Los contaminantes del aire en la superficie llegan a concentrarse hasta llegar a valores nocivos o letales para los seres vivos. Una IT acentúa los efectos dañinos de las islas de calor y las cúpulas de polvo que se forman sobre las áreas urbanas. Las altas concentraciones de sustancias tóxicas en el ambiente pueden producir cuadros de diferente gravedad, como catarros comunes, irritación ocular persistente, amigdalitis, sinusitis, laringitis bronquitis, crisis asmáticas y neumonías.

Debido a sus efectos, el Ayuntamiento de Madrid ha creado una serie de “Protocolos de Actuación para Episodios de Contaminación” para dos contaminantes: el dióxido de nitrógeno y el ozono troposférico. Este protocolo de actuación conlleva una zonificación

espacial en función de los niveles de concentración de dicho contaminante, una jerarquización de los valores límites y unas restricciones al tráfico según la magnitud del episodio<sup>2</sup>.

## 1.2 EL ASMA

El asma es una enfermedad respiratoria crónica en la que se produce una inflamación de las vías respiratorias que causa una obstrucción reversible de dichas vías. Entre los síntomas se encuentran las sibilancias (“pitidos”), dificultad para respirar, tos y opresión en el pecho (Gomez-Llorente et al., 2017). Es una de las enfermedades crónicas más frecuentes del mundo, afectando, según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), a 333 millones de personas de los que 160 corresponden a hombres y 173 a mujeres. En los países occidentales, la prevalencia del asma ha ido en aumento en relación con los niveles de industrialización, aunque en los últimos años parece haberse estabilizado. Además, el número de hospitalizaciones debidas al asma han ido aumentando progresivamente (Mitchell, 1985; Arrotta et al., 2019; Ponte et al., 2021).

En España, entre los años 2006 y 2014 se ha mantenido en niveles similares en torno al 5% en la población adulta, proporción esta que se duplica en el asma infantil, donde alcanza el 10%. Se trata, por tanto, de la enfermedad crónica más frecuente en la infancia. En nuestro país la prevalencia en adultos y niños varía notablemente de unas zonas a otras (menor en el norte y mayor en el sur), diferencias que han sido explicadas por diversos autores en relación con factores genéticos, proporción de población inmigrante y factores medioambientales, organizativos y asistenciales de los distintos Servicios Autonómicos de Salud.

El asma es un grave problema de salud pública que supone una gran carga en nuestra sociedad en relación directa con el gasto que genera, e indirectamente con la pérdida de productividad y la afectación de la calidad de vida, rondando los 15 millones al año el número de años de vida perdidos por discapacidad (Rodríguez Rodríguez et al., 2017) ocasionados por el asma, cifra esta equiparable a la que conlleva la diabetes, la cirrosis o la esquizofrenia.

---

<sup>2</sup> <http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/calair/Episodios/ProtocolosActuacion/>

El asma es una enfermedad multifactorial que se desarrolla en una persona previamente susceptible, sobre la que interactúan una serie de factores que se pueden encuadrar en dos tipos, los propios de la persona y los desencadenantes externos (Rodríguez Rodríguez et al., 2017). Entre ellos están:

- Predisponentes, que hacen que una persona sea susceptible de padecer asma: atopia y sexo.
- Causales, que sensibilizan las vías aéreas, conduciendo al desarrollo de la enfermedad: alérgenos domésticos, ambientales y ocupacionales, ácido acetilsalicílico y otros antiinflamatorios no esteroideos (AINE).
- Desencadenantes, que provocan reagudizaciones en asmáticos: exposición a alérgenos, virus respiratorios, ejercicio e hiperventilación, frío ambiental y AINE.
- Coadyuvantes, que incrementan la respuesta o la susceptibilidad de un individuo a padecer asma: infecciones respiratorias, tabaquismo activo y pasivo y contaminantes ambientales.

Existen evidencia de la existencia de un vínculo entre el aumento de los síntomas del asma, las visitas a urgencias y los ingresos hospitalarios con los niveles de contaminación atmosférica (Romieu et al., 1995; Rosas et al., 1998; D'Amato et al., 2005; Palmieri et al., 2008; Ortega-García et al., 2020). Además, los efectos de la contaminación atmosférica pueden no ser inmediatos y aparecer tras varios días (Ponka, 1991; Ponka y Virtanen, 1996; Beard et al., 2012).

### **1.3 LA COMUNIDAD DE MADRID**

Madrid conforma una de las grandes áreas metropolitanas de Europa. Madrid se encuentra en la zona sur de la Meseta Española, entre las cuencas de los ríos Jarama y Manzanares, en la cuenca hidrográfica del río Tago (Figura 1.3). La orografía es relativamente accidentada, ya que existen importantes diferencias de altitud, que van desde los 846 metros sobre el nivel del mar en la zona norte hasta los 543 metros al sureste.

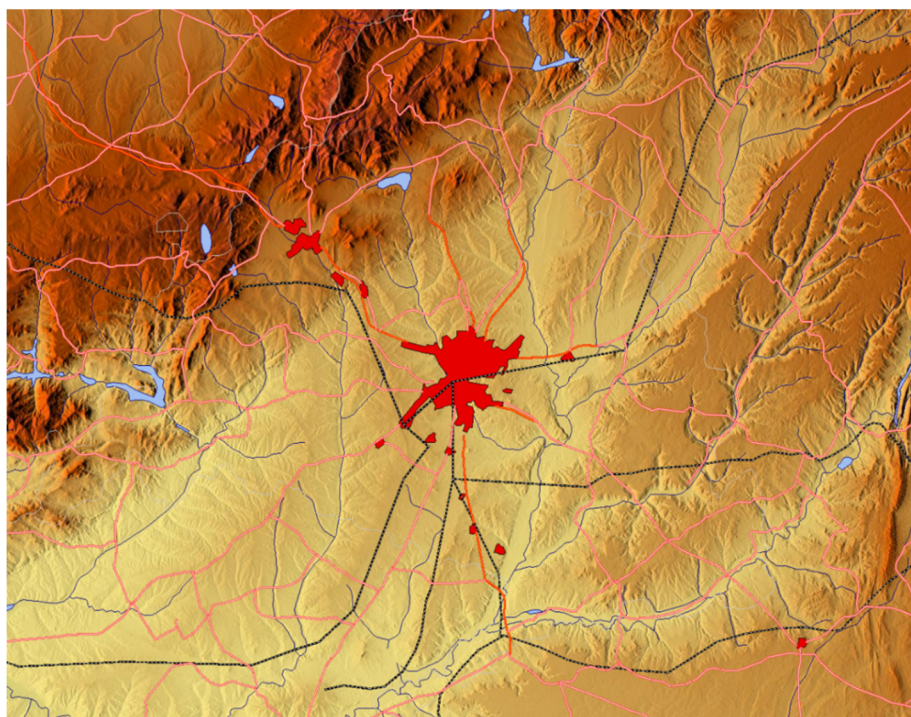


Figura 1.3. Mapa topográfico de Madrid. Fuente: <https://maps-for-free.com>.

La capital constituye la principal zona urbana de España pues 3,5 millones de personas viven en el municipio a partir de 2018, repartidas en 604,3 km<sup>2</sup>, pero la población de toda el área metropolitana es de aproximadamente 6,5 millones (Rasilla et al., 2019). La ciudad experimentó un fuerte crecimiento poblacional desde principios de siglo XX hasta 1970, pasando de aproximadamente 500.000 habitantes a 3 millones de personas. Desde los años 80 la urbanización se centró en las poblaciones circundantes. Los grupos de población vulnerable (mayores de 65 años y menores de 15) representan el 33,3% del total. Hay 4.699.917 vehículos matriculados en la provincia de Madrid, de los cuales 1.500.000 entran en el núcleo de la ciudad todos los días.

Entre los años 2009 a 2015 la población de la Comunidad permaneció relativamente estable pues la tasa de crecimiento fue del 0,7%, existiendo un ligero predominio del género femenino (Tabla 1.1).

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Hombres	3.094.874	3.124.438	3.132.844	3.130.241	3.123.724	3.099.641	3.087.022
Mujeres	3.292.058	3.334.246	3.356.836	3.368.319	3.371.827	3.354.799	3.349.974
Total	6.386.932	6.458.684	6.489.680	6.498.560	6.495.551	6.454.440	6.436.996

Tabla 1.1. Evolución anual de la población en la Comunidad de Madrid. Fuente: Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid.

La Figura 1.4 muestra una pirámide de población regresiva típica de los países desarrollados, en los que la natalidad ha descendido rápidamente, las tasas de mortalidad se han reducido con el consiguiente aumento de la esperanza de vida. Posiblemente la tasa de crecimiento está ligada con la llegada de población emigrante.

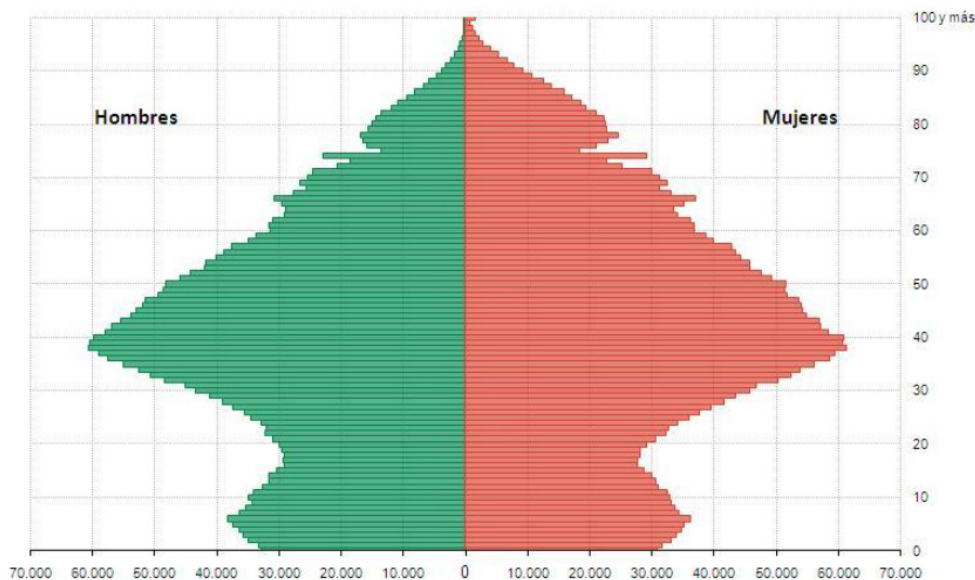


Figura 1.4. Pirámide de la población año 2015. Fuente: Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid. Fuente: [http://www.madrid.org/iestadis/fijas/estructu/demograficas/censos/ipob\\_ref\\_3.htm](http://www.madrid.org/iestadis/fijas/estructu/demograficas/censos/ipob_ref_3.htm).

### 1.3.1 Características climatológicas

Debido a su altitud y a la distancia al mar, Madrid experimenta una versión extrema del clima mediterráneo (Csa) (Köppen Climate Classification)<sup>3</sup>, caracterizada por la escasez de precipitaciones, sobre todo en otoño y primavera, y por los grandes cambios de temperatura anuales y diurnos. Los veranos son especialmente cálidos (la temperatura máxima media de julio es de 32,13°C) y secos, con precipitaciones medias en julio de 11 mm y en agosto de 9 mm (Figura 1.5). En general, los vientos dominantes en la región son de componente SW durante el día, seguidos de los del NE durante la noche, aunque con escasa diferencia entre ambas direcciones. Las velocidades medias correspondientes a los vientos del SW son más elevadas y, por tanto, son las que dan lugar a las mayores renovaciones de aire en Madrid<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> <https://www.weatherbase.com/weather/weather-summary.php3?s=12280&cityname=Madrid,+Spain>

<sup>4</sup> <https://world-weather.info/archive/spain/madrid/>.



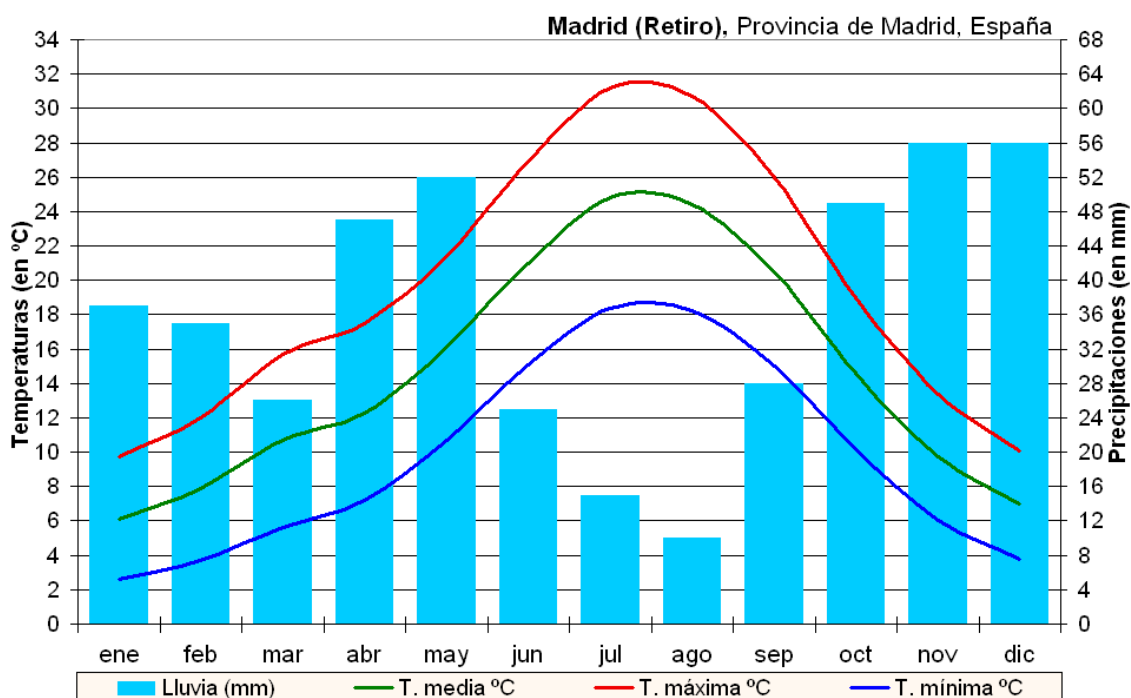


Figura 1.5. Climograma de Madrid, periodo 1981-2010. Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Clima\\_de\\_Madrid](https://es.wikipedia.org/wiki/Clima_de_Madrid).

### 1.3.2 El Sistema Madrileño de Salud (SERMAS)

El Sistema Sanitario de la Comunidad de Madrid, se basa en los principios de universalidad, solidaridad, equidad e igualdad efectiva en el acceso, desde una concepción integral del Sistema que contemple la promoción de la salud, la educación sanitaria, la prevención y la asistencia, no sólo de los madrileños, sino de las personas que se encuentren en su ámbito territorial. Por este motivo los datos de morbilidad asistida que se recojan no presentan un sesgo de selección por estar basados en un solo hospital o que existan barreras de tipo económico que limiten la accesibilidad al sistema sanitario a los grupos más desfavorecidos de la población. Además, en el año 2015 había 34 hospitales públicos dependientes del SERMAS (Ferrándiz Santosa et al., 2018).

## 2 OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es relacionar, en la Comunidad de Madrid, los ingresos hospitalarios por asma con los periodos de inversión térmica y la calidad del aire en la etapa comprendida entre 2009 y 2015, ambos años inclusive.

Como objetivos específicos señalamos los siguientes:

- Llevar a cabo la revisión de diferentes fuentes y materiales documentales referentes al estudio de las relaciones entre el clima, la contaminación atmosférica y la salud respiratoria de las personas, especialmente el asma, con el fin de poder encuadrar el trabajo en un marco teórico.
- Desarrollo de una propuesta metodológica en la se integra el estudio combinado de aspectos climáticos, de contaminación atmosférica y sanitarios bajo un análisis estadístico específico con el fin de poder identificar sincronías entre los diferentes elementos considerados en el estudio.
- Describir la evolución de las hospitalizaciones por asma totales, por grupos de edad, género y trimestre del año.
- Elaborar un calendario de inversiones térmicas en Madrid, identificándolas y clasificándolas en función de su persistencia.
- Analizar el impacto de las inversiones térmicas en la calidad del aire de la ciudad de Madrid, comparando los registros de los principales contaminantes medidos en una estación del centro de Madrid durante los días con y sin inversión.
- Determinar y cuantificar si existe impacto de las inversiones térmicas persistentes en el número de ingresos hospitalarios por asma.



### 3 FUENTES Y METODOLOGÍA

Se trata de un estudio retrospectivo y transversal en el que se emplea como variable dependiente el número de ingresos hospitalarios relacionados con asma en la Comunidad de Madrid en el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2009 y el 31 de diciembre de 2015 (84 meses). Se ha escogido este periodo debido a la disponibilidad simultánea de datos sobre ingresos hospitalarios, así como información meteorológica sobre inversiones térmicas y niveles de contaminación.

#### 3.1 FUENTES DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

La información meteorológica correspondiente a los observatorios meteorológicos de Navacerrada y del Aeropuerto de Barajas (Tabla 3.1) se ha obtenido de la base de datos European Climate Assessment & Dataset <sup>5</sup>.

<b>Indic.</b>	<b>Nombre</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
<b>3129</b>	MADRID/BARAJAS	402800	33320
<b>2462</b>	NAVACERRADA, PUERTO	404735	40038

Tabla 3.1. Ubicación de los observatorios meteorológicos empleados en el estudio.

Ambos observatorios pertenecen a la red principal de la Agencia Estatal de Meteorología (AeMet), registrando la mayoría de los parámetros meteorológicos (“estaciones completas”). Entre ellos se seleccionaron las siguientes variables:

- la temperatura máxima y la mínima en Barajas y Navacerrada.
- la humedad relativa.
- la velocidad media diaria del viento (km/h).
- Número de horas de sol al día. Los datos originales de esta variable han sido transformados en % de insolación sobre el total posible, para eliminar el impacto del alargamiento de los días de invierno a verano.

---

<sup>5</sup> <https://www.ecad.eu/>

### 3.2 FUENTES DE INFORMACIÓN SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE

Los datos de calidad del aire han sido obtenidos a través del Portal de datos abiertos del Ayuntamiento de Madrid <sup>6</sup>, y corresponden a datos horarios de los contaminantes registrados en la estación de “Escuelas Aguirre” (Figura 3.1).

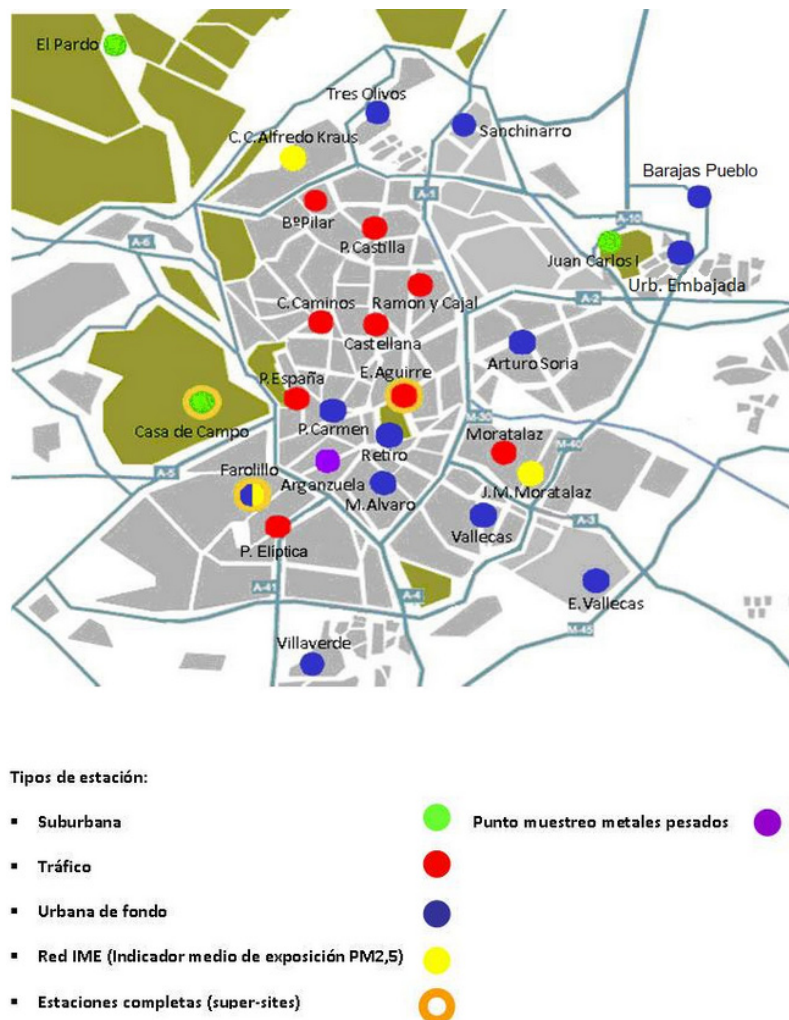


Figura 3.1. Ubicación de las 24 Estaciones Remotas automáticas que recogen la información básica para la vigilancia atmosférica estaciones del Sistema de Vigilancia. Fuente: <http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/calair/SistemaIntegral/SistVigilancia/>.

La Estación de “Escuelas Aguirre” está situada entre las calles Alcalá y O’Donnell (longitud 3° 40' 56.22" O y latitud 40° 25' 17.63" N) a unos 672 metros sobre el nivel del mar. Es una estación de tráfico urbana clasificada como estación completa (“super-sites”) ya

<sup>6</sup> <https://datos.madrid.es/sites/v/index.jsp?vgnextoid=f3c0f7d512273410VgnVCM2000000c205a0aR-CRD&vgnnextchannel=374512b9ace9f310VgnVCM100000171f5a0aRCRD>

que, además de datos meteorológicos (temperatura media, humedad relativa) registra niveles sonoros y los siguientes contaminantes:

- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).
- Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).
- Ozono (O<sub>3</sub>)
- Partículas en suspensión de diámetro inferior a 10 µm (PM<sub>10</sub>).
- Partículas en suspensión de diámetro inferior a 2,5 µm (PM<sub>2,5</sub>).

### **3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN SOBRE INGRESOS HOSPITALARIOS**

Los datos de ingresos hospitalarios han sido extraídos del Conjunto Mínimo Básico de Datos – Hospitalización (CMBD-H) durante el periodo estudiado. La herramienta empleada ha sido ETL-OLAP (Fernandez de Arroyabe Hernández et al., 2018) del grupo de investigación Geobiomet atendiendo al criterio consistente en que el código del diagnóstico primario sea 493 (asma y todos sus subcódigos) en la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-9)<sup>7</sup>.

Las extracciones de datos se han realizado para los hospitales de la provincia (CCAA) de Madrid de forma agregada atendiendo al género y grupos de edad (0 – 14, 15 – 64 y ≥ 65 años) en forma de calendarios (diario, mensual y anual) y de series temporales de datos. Todos los ingresos se consideraron como episodios únicos, incluso si una persona fue ingresada en varias ocasiones durante este periodo.

### **3.4 METODOLOGÍA**

El trabajo comprende varias fases, cada una de ellas con una aproximación metodológica propia.

#### **3.4.1 Análisis demográfico**

Un primer parte será un análisis de los ingresos hospitalarios en la comunidad de Madrid por sexo y grupo de edad.

---

<sup>7</sup> [https://eciemaps.msrebs.gob.es/ecieMaps/browser/index\\_9\\_mc.html](https://eciemaps.msrebs.gob.es/ecieMaps/browser/index_9_mc.html)

### 3.4.2 Definición y caracterización de las inversiones térmicas

Para la definición y caracterización climatológica de las inversiones térmicas, se ha definido una inversión térmica cuando la diferencia entre las temperaturas mínimas de Navacerrada y Barajas (también conocida como gradiente vertical) presentaba un valor positivo ( $> 0^{\circ} \text{C}$ ). A partir de esta nueva variable, se establecieron 3 categorías (Figura 3.2):

- Día sin inversión térmica.
- Inversión térmica (periodo de hasta 3 días consecutivos con inversión térmica).
- Inversión térmica persistente, cuando es superior a 3 días consecutivos o a partir de 4 noches consecutivas (Beard et al., 2012; Largeron y Staquet, 2016).

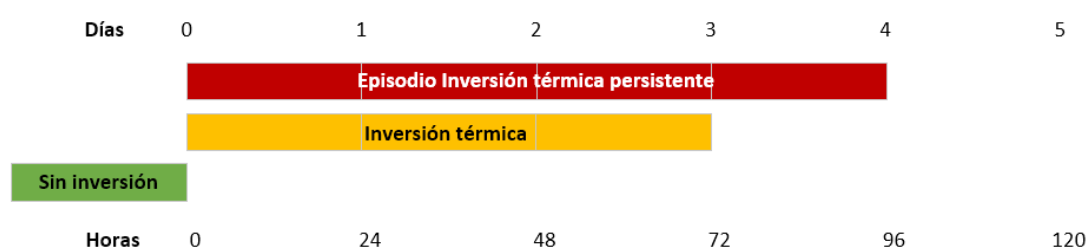


Figura 3.2. Diferencia en duración entre la “inversión térmica” y el “episodio de inversión térmica persistente”

### 3.4.3 Caracterización temporal y climatológica de las ITs

Una vez definidas las inversiones, se realiza la caracterización temporal y climatológica de las inversiones térmicas en Madrid, calculando los valores medios de las variables meteorológicas de las estaciones de Barajas y Navacerrada correspondientes a los días sin inversión y con inversión persistente.

### 3.4.4 Calidad del aire e ITs

A continuación, se analiza el impacto de las inversiones térmicas persistentes sobre la calidad del aire de Madrid, tomando como referencia la estación de tráfico de Escuelas Aguirre. Para ello, se calculan los valores medios de los principales contaminantes correspondientes a los días sin inversión y con inversión persistente.

### **3.4.5 ITs, calidad del aire e ingresos hospitalarios por asma**

Por último, tras identificar los principales episodios de inversión, se compararán los resultados anteriores con el número de ingresos hospitalarios por asma. Puesto que el efecto de la inversión térmica sobre la salud puede no ser inmediato, se estudiarán ingresos durante el periodo de inversión persistente y durante 1, 2 y 3 días tras su finalización pues pueden existir retardos entre los impactos y los efectos en el organismo.

### **3.4.6 Análisis estadísticos**

El análisis estadístico de los datos se ha realizado mediante los programas JASP (Versión 0.14.1) y Tableau Public Versión 2021.1. Los datos descriptivos de las variables cuantitativas se expresaron en medias y desviaciones estándar o mediana y rango intercuartil. En el caso de variables cualitativas se expone el número de casos y los porcentajes. Para la representación gráfica del valor de las variables cuantitativas y sus diferencias según las categorías definidas anteriormente se han empleado diagramas de “caja y bigotes” (también denominados “boxplot” o “box and whiskers plot”) ya que muestran al mismo tiempo la mediana (línea central de la caja), el primer y tercer cuartil (base y techo de la caja), los casos extremos (bigotes) y los valores atípicos (puntos) de la variable.

La significación estadística de las diferencias entre contaminantes e ingresos según categorías de inversiones se obtuvo mediante la prueba de Kruskal-Wallis después de comprobar que la distribución de los datos no se ajustaba a una distribución normal (test de Kolmogorov-Smirnov). En las comparaciones que se realizaron entre las variables cualitativas se utilizó la prueba de  $\chi^2$ . En todos los casos se consideró significación estadística para  $p$  los valores inferiores a 0,05.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 INGRESOS HOSPITALARIOS POR ASMA EN LA COMUNIDAD DE MADRID

Entre 2009 y 2015 se produjeron 25.024 ingresos hospitalarios relacionados con asma en la comunidad de Madrid. La tasa de incremento fue del 16,6% durante este periodo, y los ingresos predominaron en el grupo de edad  $\geq 65$  años (Figura 4.1).

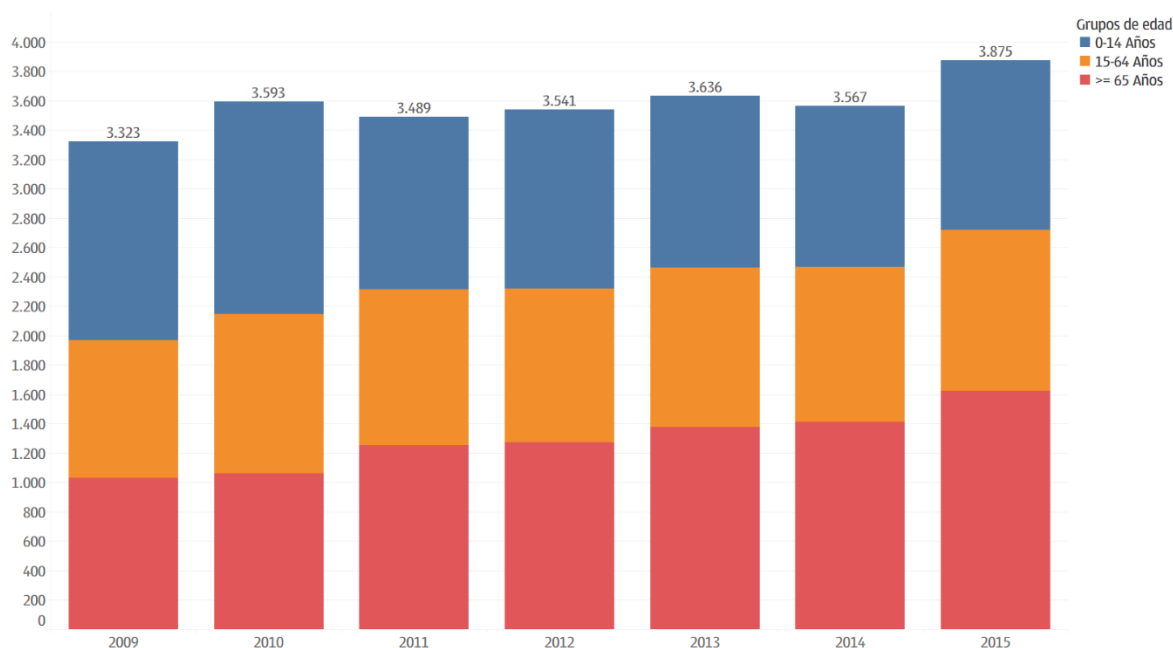


Figura 4.1. Ingresos hospitalarios anuales por asma y grupos de edad

Si también incluimos la variable género se observa que el mayor incremento en el grupo de edad  $\geq 65$  años se produce en las mujeres mientras que el número de ingresos masculinos es muy inferior (Figura 4.2).

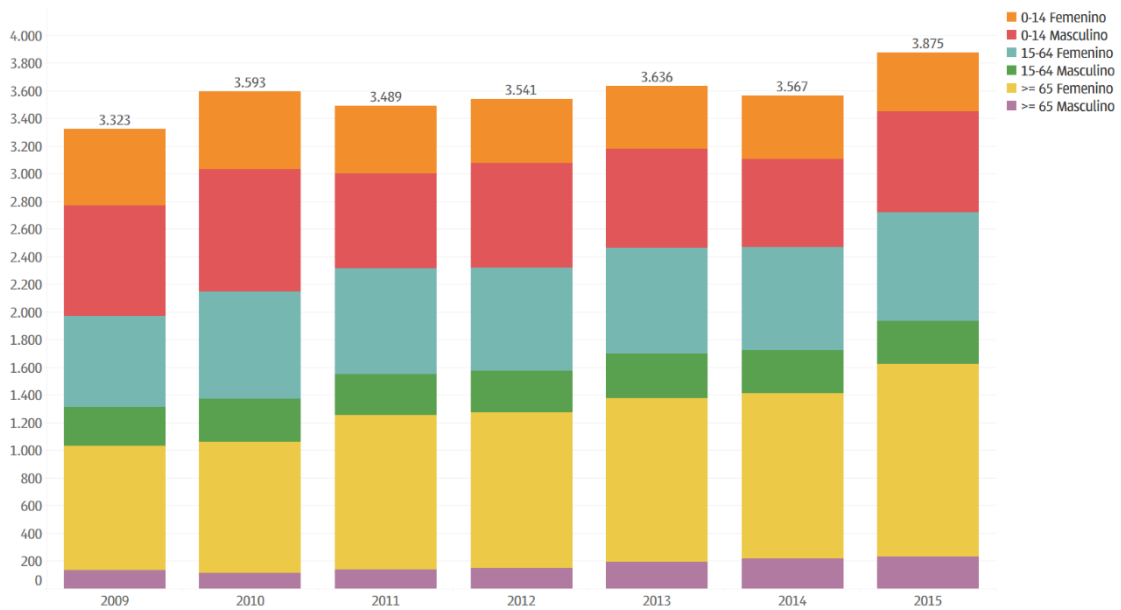


Figura 4.2. Ingresos hospitalarios anuales por asma, grupos de edad y género

Podemos estudiar el agrupamiento estacional de los ingresos viendo si hay diferencias por trimestres (Figura 4.3) y grupos de edad a lo largo del periodo.

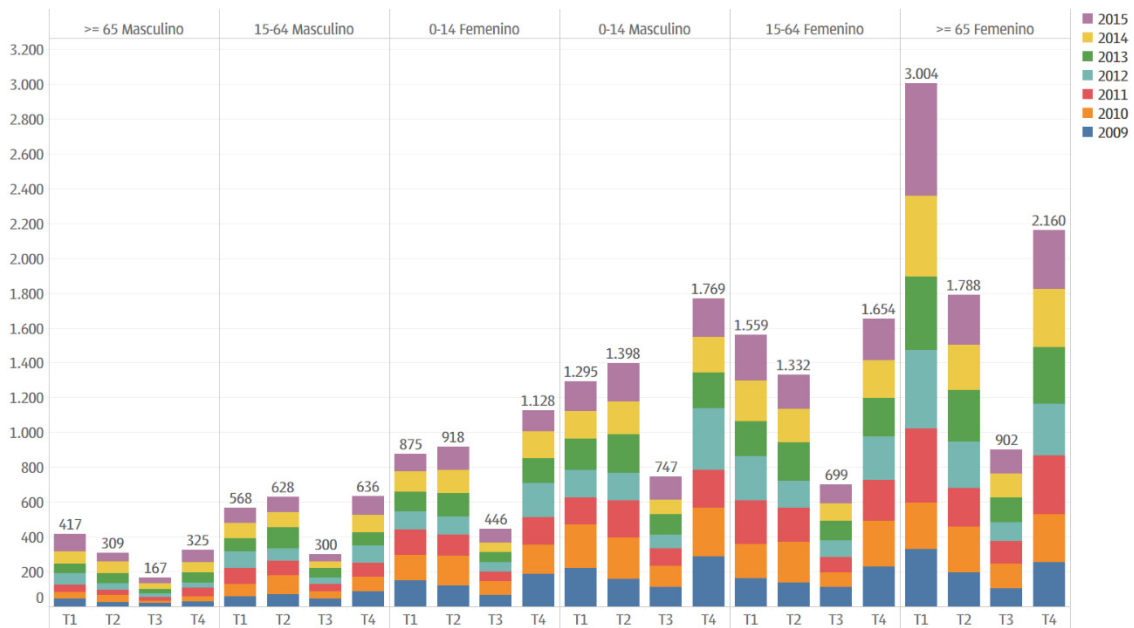


Figura 4.3. Ingresos hospitalarios por trimestres, grupos de edad y género a lo largo del periodo.

El grupo con menor número de ingresos es el de  $\geq 65$  años de género masculino, seguido de 15-64 años género masculino, 0-14 años femenino, 0-14 masculino, 15-64 femenino y  $\geq 65$  años de género femenino. En todos los casos el trimestre con menor número de

ingresos es el tercero y los ingresos hospitalarios por asma son más frecuentes en las mujeres salvo en el grupo de edad de 0-14 años en el que predominan en niños y adolescentes de género masculino.

#### 4.2 INVERSIONES TÉRMICAS EN EL PERIODO

Durante el periodo estudiado se han producido 51 episodios de inversión térmica con una duración de 161 días. La Figura 4.4 muestra que las inversiones térmicas se concentran en el primer y cuarto trimestre de todos los años, con la sola excepción del año 2010 en que solo se producen en el cuarto trimestre y el año 2012 en el que hay una inversión térmica de un día de duración en el tercer trimestre.

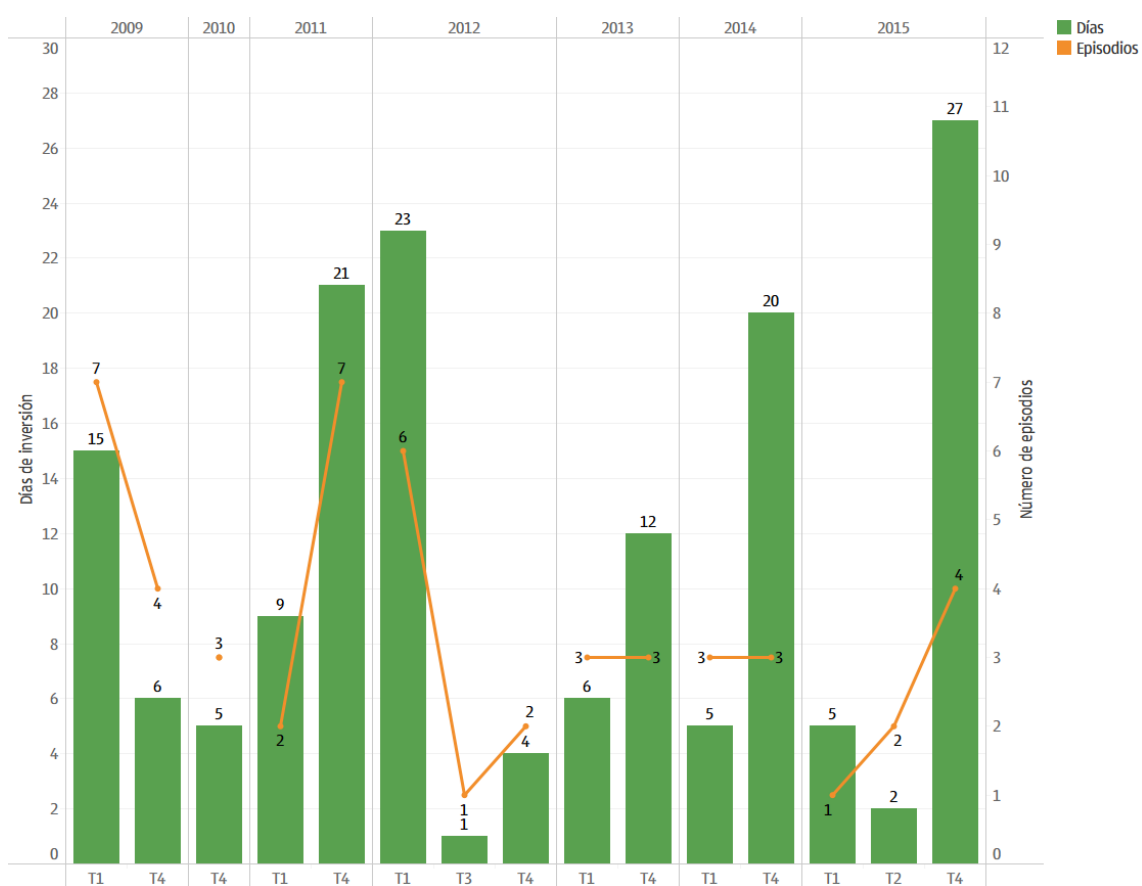


Figura 4.4. Inversiones térmicas anuales y por trimestre del año, mostrando el número de días de inversión y el número de episodios.

La Figura 4.5 muestra la duración en días de las rachas de inversión térmica y su frecuencia. Las rachas más frecuentes son las que duran 1 día (21), 2 días (7) y 3 días (6).



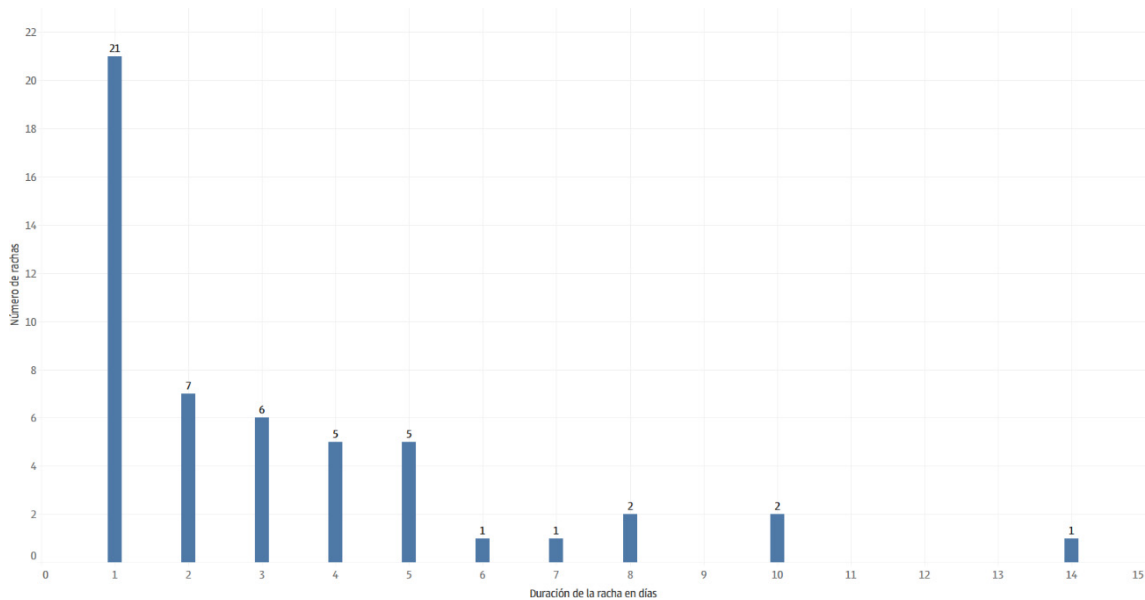


Figura 4.5. Frecuencia de las rachas de inversiones térmicas en función de su duración en días.

Cuando consideramos solamente los episodios persistentes de inversión térmica, es decir aquellos superiores a 3 días consecutivos o de 4 noches consecutivas, observamos que se han producido 17 episodios con una duración de 108 días, que aparecieron exclusivamente durante los trimestres primero y cuarto. En la Figura 4.6 se muestra el año, trimestre, mes, semana, día de comienzo y duración en días de los episodios de inversión térmica prolongada. Además, en el año 2010 no hubo ningún episodio de inversión térmica prolongada. La duración media de estos episodios prolongados ha sido de 6,3 días (desviación estándar 2,8), con un mínimo de 4,0, un máximo de 14,0 y una mediana de 5,0 (rango intercuartil 4,0).

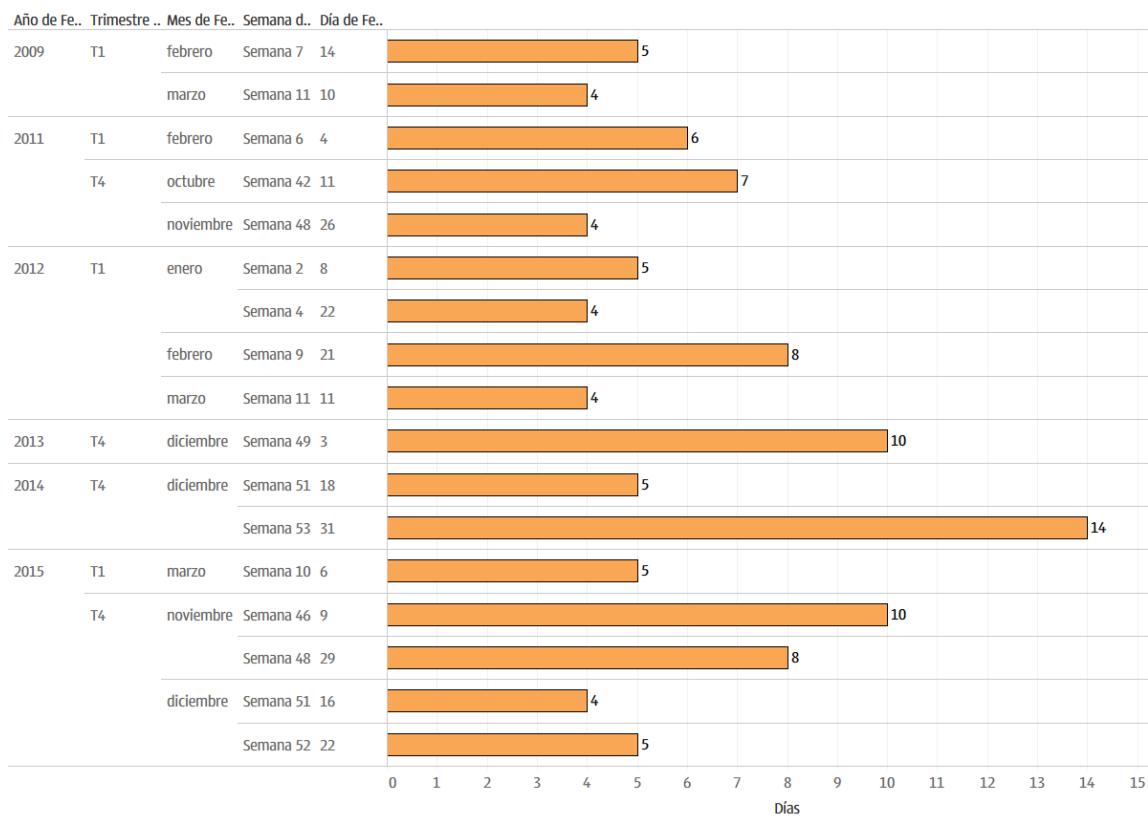


Figura 4.6. Episodios de inversión térmica persistentes por año, trimestre, semana y día.

### 4.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS ITS

La caracterización de las ITS se ha centrado en los periodos en los que se producen episodios de inversión térmica prolongada (primer y cuarto trimestre de cada año). Las temperaturas máximas en Navacerrada y Barajas durante 2009-2015 son superiores durante los periodos de inversión térmica que en los días que no se produce este fenómeno climatológico (Figura 4.7). En cambio, las temperaturas mínimas en Navacerrada son superiores durante las inversiones térmicas que, en los días sin ellas, e inferiores los días sin inversión térmica mientras que en Barajas ocurre a la inversa (Figura 4.8). Esto implica que los habitantes de la ciudad de Madrid experimentan una gran amplitud térmica durante los episodios de inversión, con temperaturas diurnas relativamente suaves para la época, pero mínimas muy por debajo de los valores habituales, con frecuentes e intensas heladas nocturnas.

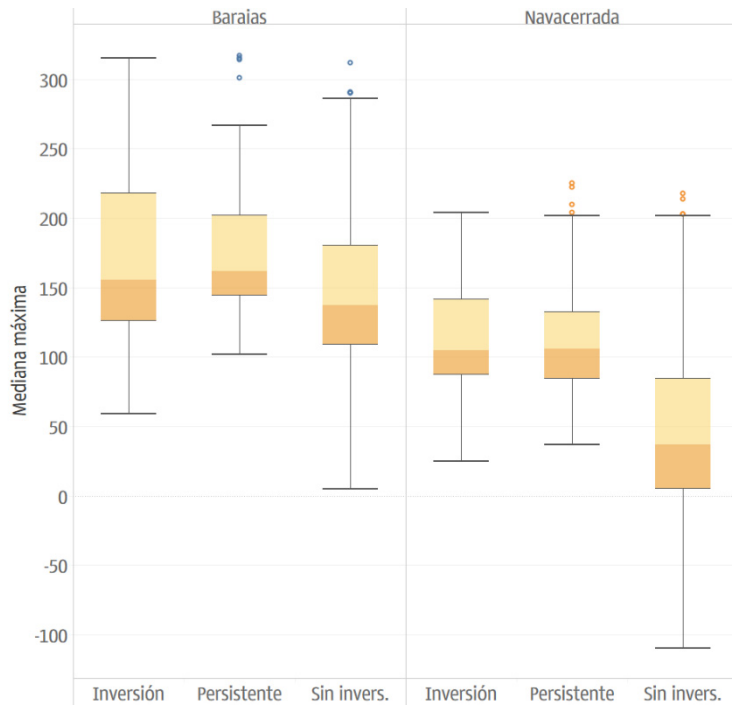


Figura 4.7. Temperaturas máximas en Barajas y Navacerrada según ocurrencia y duración de las inversiones térmicas.

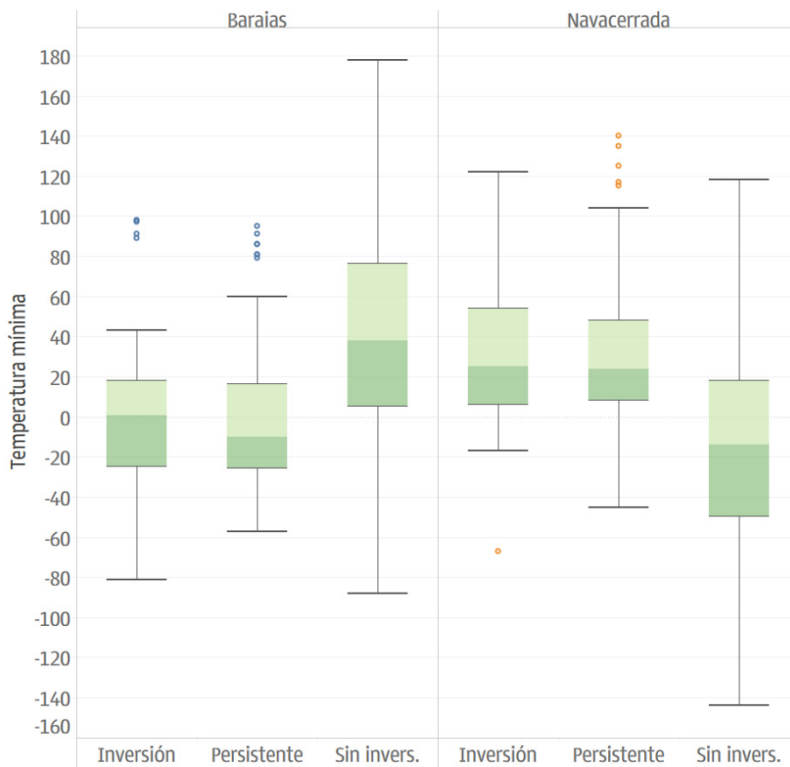


Figura 4.8. Temperaturas mínimas en Barajas y Navacerrada según ocurrencia y duración de las inversiones térmicas.

La humedad relativa en Navacerrada es superior los días sin inversión térmica mientras que en Barajas no existe esa gran diferencia (Figura 4.9)

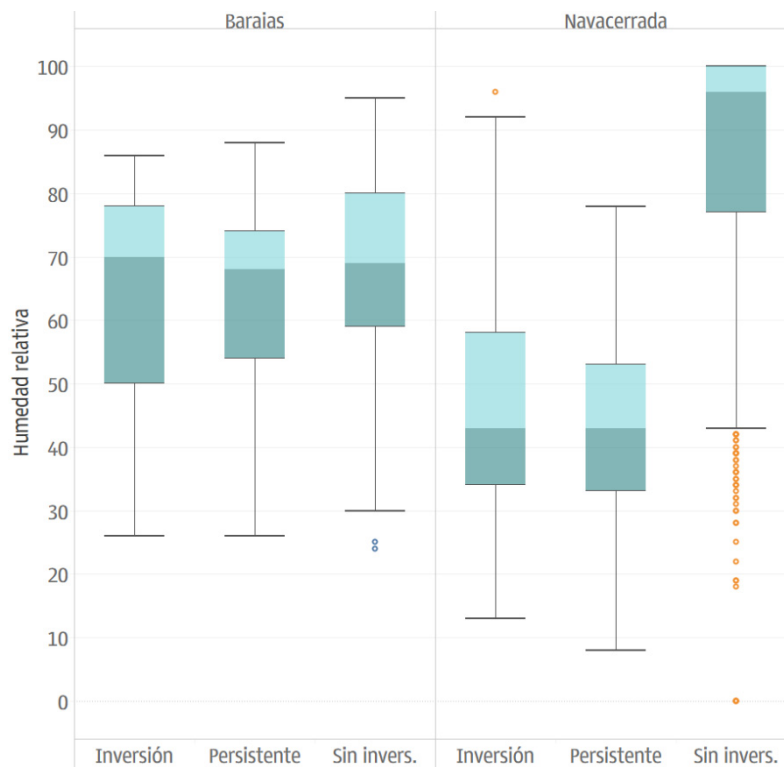


Figura 4.9. Humedad relativa en Barajas y Navacerrada según ocurrencia y duración de las inversiones térmicas.

La velocidad media del viento fue superior los días sin inversión térmica tanto en Navacerrada como en Barajas (Figura 4.10). Además, el porcentaje de hora de insolación es claramente superior los días de inversión térmica tanto en Navacerrada como en Barajas (Figura 4.11).

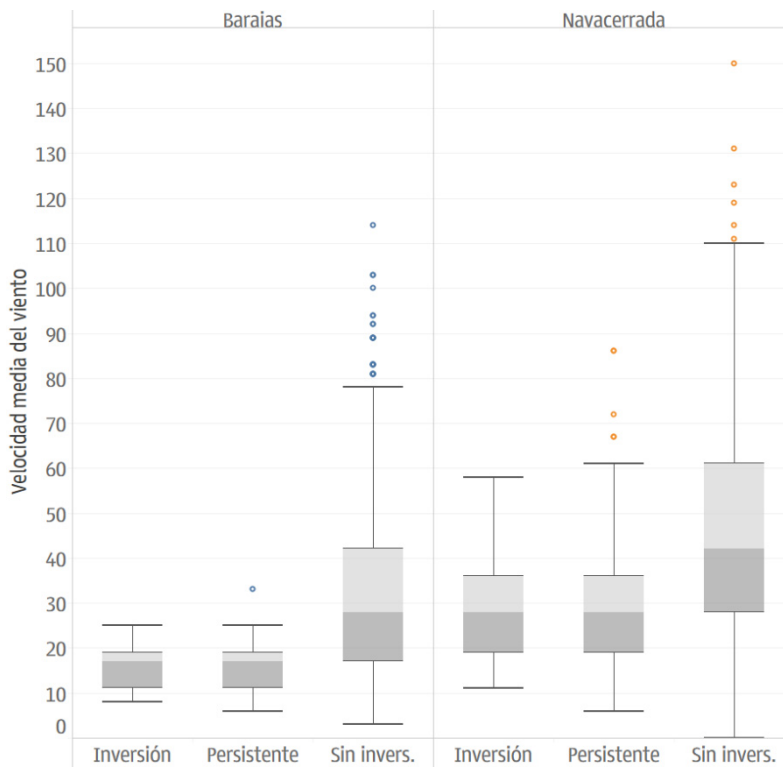


Figura 4.10. Velocidad media del viento (km/h) en Barajas y Navacerrada según ocurrencia y duración de las inversiones térmicas.

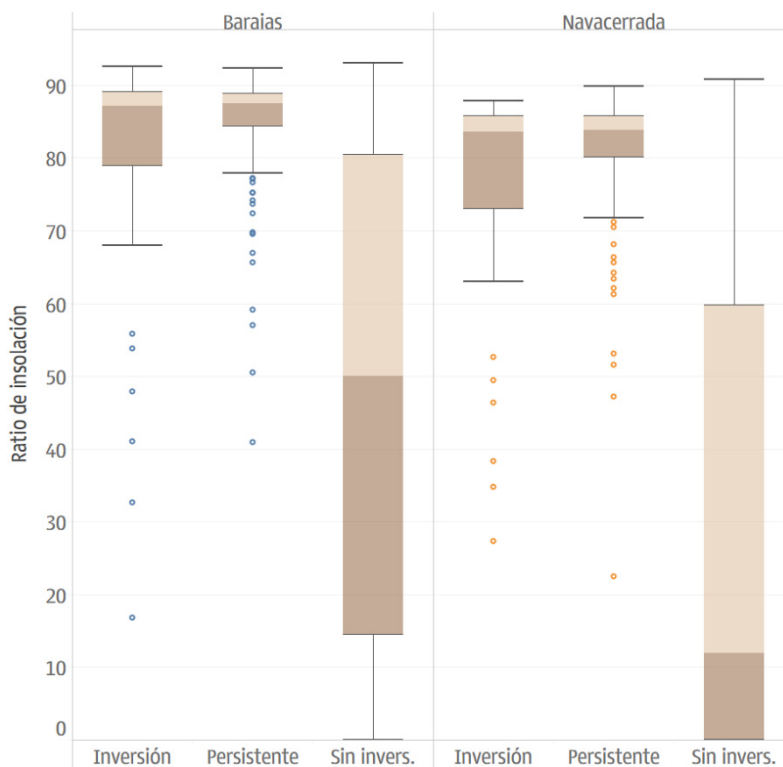


Figura 4.11. Ratio de horas de insolación en Barajas y Navacerrada según ocurrencia y duración de las inversiones térmicas.

#### 4.4 CALIDAD DELAIRE E ITS

Para valorar el impacto en la calidad del aire de las inversiones térmicas se han analizado las concentraciones medias diarias de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), las partículas en suspensión de diámetro inferior a 10 µm (PM<sub>10</sub>) y las partículas en suspensión de diámetro inferior a 2,5 µm (PM<sub>2.5</sub>).

El primero de los contaminantes analizados es el SO<sub>2</sub>. Es resultado de la combustión de carburantes de origen fósil que contienen azufre (como el petróleo o el carbón) en procesos industriales de alta temperatura o en la generación de electricidad en las centrales termo-eléctricas. Es, por tanto, un contaminante de origen antrópico, aunque no se presenta en cantidad importantes en Madrid, debido a la sustitución en el pasado de las calderas de carbón por las de propano y, recientemente, de gas natural, así como la ausencia de industrias o centrales próximas. Además, en el último decenio se produjo un acusado descenso de las emisiones de SO<sub>2</sub> al incorporarse tecnología de desulfuración en los procesos de generación de energía (Plan 2007 de Reducción de Emisiones de Grandes Instalaciones de Combustión; GICs). No obstante, es uno de los contaminantes que experimenta incrementos más significativos durante los episodios de inversión, particularmente durante los persistentes. La concentración media diaria de SO<sub>2</sub> fue de 11,3 (desviación estándar 5,4) y mediana de 10,6 (rango intercuartil 7,9). La prueba de Kruskal-Wallis muestra que hay una diferencia significativa en las medianas de la concentración diaria entre los días sin inversión térmica, con inversión y con inversión prolongada ( $p < 0,001$ ), (Figura 4.12).

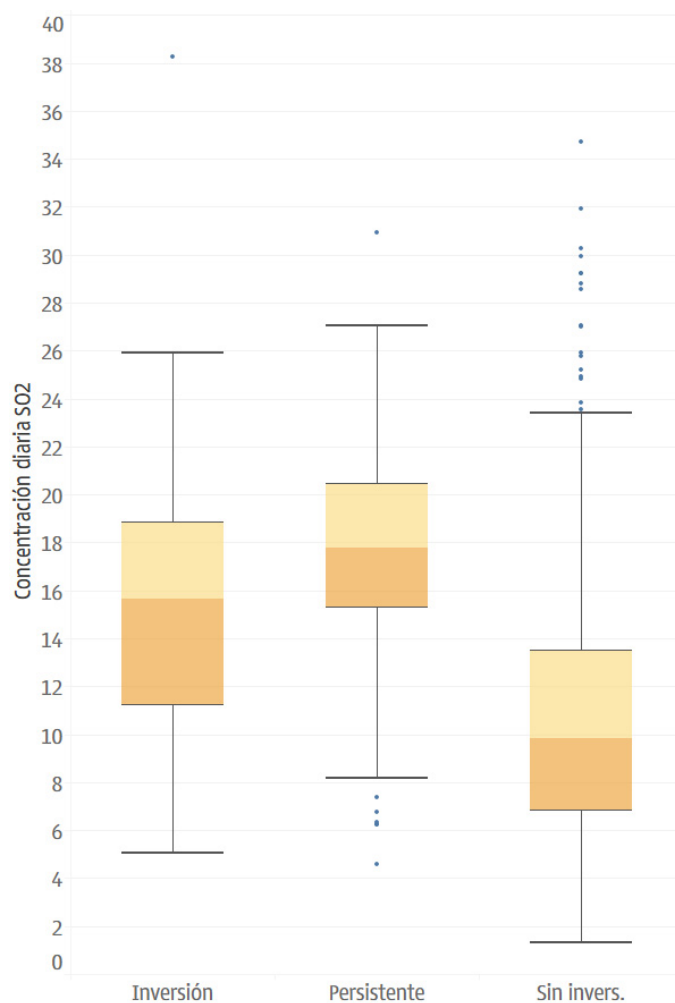


Figura 4.12. Concentración media diaria de SO<sub>2</sub> según ocurrencia y duración de las inversiones térmicas

El NO<sub>2</sub>, junto con su derivado el NO<sub>x</sub> (este último resultado de la combinación de NO + NO<sub>2</sub>) no sólo tienen un origen antrópico, sino que además son los contaminantes urbanos por excelencia, ya que alcanza sus niveles más elevados en las grandes aglomeraciones urbanas y en sus coronas metropolitanas, así como a lo largo de las vías de comunicación con tráfico más denso. Su formación es el resultado de la oxidación, a altas temperaturas, del nitrógeno atmosférico (N<sub>2</sub>, principal componente del aire). Esto ocurre durante procesos de combustión, tanto en instalaciones industriales o eléctricas, pero sobre todo son por la quema de combustibles fósiles en vehículos automóviles, particularmente los dotados de motor diésel. Estos focos emiten directamente a la atmósfera NO y NO<sub>2</sub> (contaminantes primarios); con el tiempo, el NO se oxida y genera más NO<sub>2</sub> secundario. En ambientes urbanos, se calcula que más del 75% del NO<sub>2</sub> es aportado por el tráfico rodado.

Este contaminante también ha experimentado una reducción a largo plazo, aun-que persisten aún localidades que experimentan valores elevados de NO<sub>2</sub>. Madrid es una de las ciudades en las que se mantienen estos niveles elevados de NO<sub>2</sub>, lo que ha llevado al Ayuntamiento a activar el protocolo de actuación en varias ocasiones en los últimos años <sup>8</sup>. El NO<sub>2</sub> es uno de los contaminantes atmosféricos más afectados por las inversiones térmicas. La concentración media diaria de NO<sub>2</sub> fue de 58,9 (desviación estándar 18,7) y mediana de 55,9 (rango intercuartil 24,0). La prueba de Kruskal-Wallis muestra que hay una diferencia significativa en las medianas de la concentración media diaria entre los días sin inversión térmica, con inversión y con inversión prolongada ( $p < 0,001$ ), (Figura 4.13). Los días que se han superado los valores límites de contaminantes fue el 2,5% de los días sin inversión térmica, el 24,8% los días de inversión térmica persistente y 8,3% los días de inversión térmica. La prueba de  $\chi^2$  indica que hay una asociación significativa entre las inversiones térmicas persistentes y la superación de los niveles de dióxido de nitrógeno ( $p < 0,0001$ ).

---

<sup>8</sup> <http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/calair/Episodios/ProtocolosActuacion/>



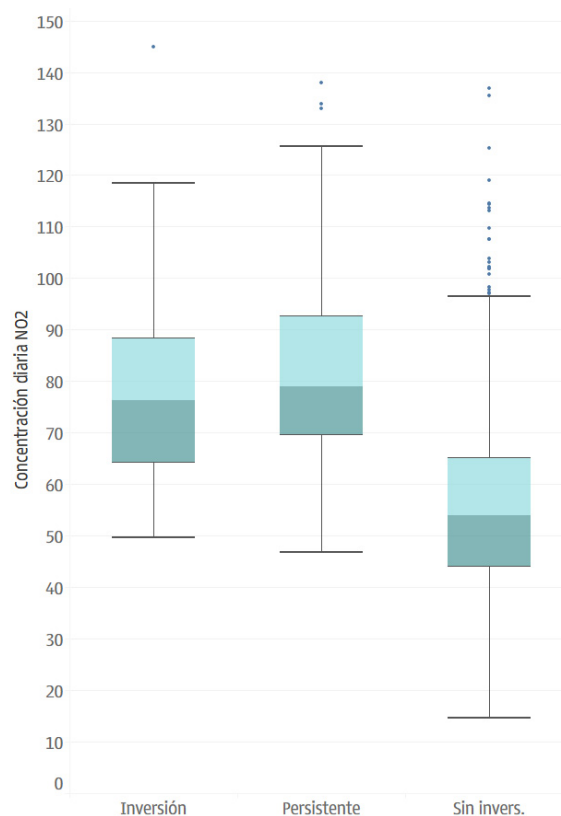


Figura 4.13. Concentración media diaria de NO<sub>2</sub>. según ocurrencia y duración de las inversiones térmicas

El tercer contaminante gaseoso analizado en este trabajo es el ozono troposférico (O<sub>3</sub>). Es un contaminante secundario, nacido a partir de reacciones químicas que tienen lugar a partir de la emisión de unos gases precursores, principalmente óxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y compuestos orgánicos volátiles (COVs), tanto antrópicos como biogénicos, éstos últimos procedentes de la vegetación. Además, las condiciones atmosféricas (radiación solar) favorecen la intensificación de esas reacciones químicas. Los valores máximos se alcanzan en verano, cuando se combinan una elevada radiación solar, grandes cantidades de emisiones antrópicas y el momento de mayor volumen de emisiones biogénicas de COVs. Además, sus niveles son superiores en las periferias de las grandes urbes y en las zonas rurales porque la reacción fotoquímica necesita una cierta distancia para generar O<sub>3</sub> a partir de sus precursores. Los niveles invernales de O<sub>3</sub> en el centro de Madrid son relativamente bajos en comparación con los estivales, y menores que en la periferia urbana, ya que los altos niveles de NO consumen rápidamente el O<sub>3</sub> mediante la oxidación de NO a NO<sub>2</sub>. Por esta razón, favoreciendo una abundante concentración de NO<sub>2</sub>, las inversiones térmicas no constituyen una situación productora de valores elevados de ozono. Por esta

razón, la concentración media diaria de O<sub>3</sub> fue de 25,1 (desviación estándar 13,6) y mediana de 23,7 (rango intercuartil 20,3). La prueba de Kruskal-Wallis muestra que hay una diferencia significativa en las medianas de la concentración media diaria entre los días sin inversión térmica, con inversión y con inversión prolongada ( $p < 0,001$ ), (Figura 4.14). Ningún día se han superado los valores límites de contaminantes.

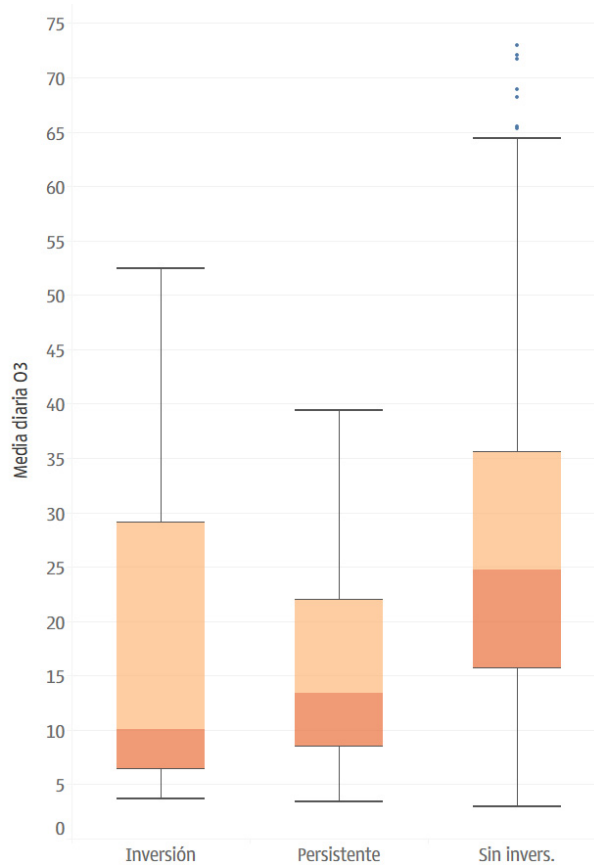


Figura 4.14. Concentración media diaria de ozono según ocurrencia y duración de las inversiones térmicas

Finalmente, los últimos contaminantes analizados fueron las partículas, en este caso, las partículas con diámetro inferior a 10  $\mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>) e inferior a 2,5  $\mu\text{m}$  (PM<sub>2,5</sub>). A diferencia de los contaminantes anteriores, las partículas son contaminantes sólidos, de orígenes muy diversos. En Madrid, como ocurre en gran parte de la Península Ibérica, la proporción de partículas de origen antrópico (tráfico rodado por combustión de motores y desgaste de frenos y neumáticos, actividad industrial y construcción) dominan sobre la de origen natural (intrusiones saharianas). La proximidad de la estación a las principales fuentes de emisión de partículas, así como la ausencia de dispersión atmosférica explican los elevados valores de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> durante los episodios de inversión. La concentración

media diaria de PM<sub>10</sub> fue de 22,9 (desviación estándar 13,3) y mediana de 19,5 (rango intercuartil 16,4). La prueba de Kruskal-Wallis muestra que hay una diferencia significativa en las medianas de la concentración media diaria entre los días sin inversión térmica, con inversión y con inversión prolongada ( $p < 0,001$ ), (Figura 4.15). Los días que se han superado los valores límites de contaminantes fue el 3,0% de los días sin inversión térmica, el 14,7% los días de inversión térmica persistente y 10,4% los días de inversión térmica. La prueba de  $\chi^2$  indica que hay una asociación significativa entre las inversiones térmicas persistentes y la superación de los niveles de PM<sub>10</sub> ( $p < 0,001$ ).

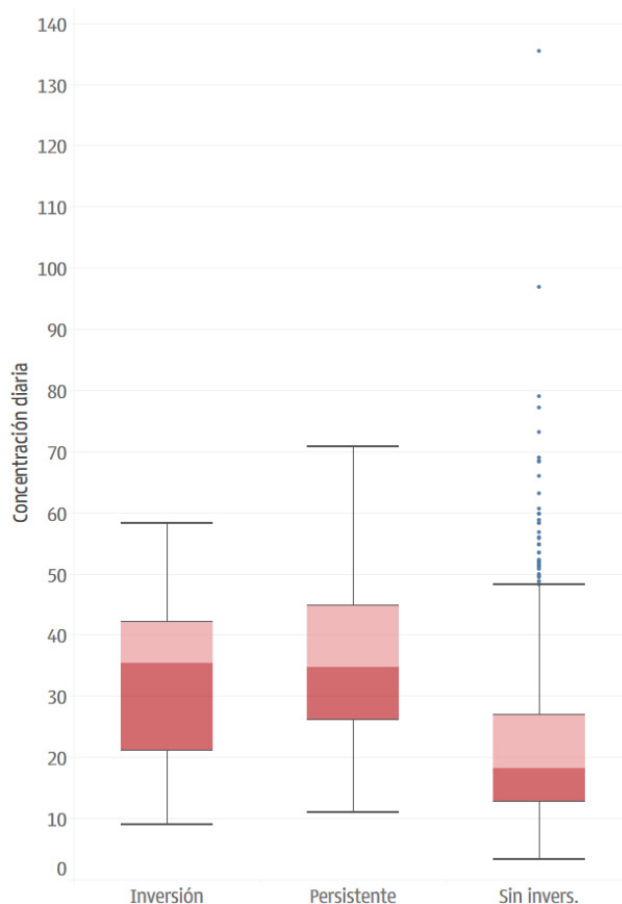


Figura 4.15. Concentración media diaria de PM<sub>10</sub> según ocurrencia y duración de las inversiones térmicas

La concentración media diaria de PM<sub>2,5</sub> fue de 13,4 (desviación estándar 6,2) y mediana de 12,1 (rango intercuartil 8,1). La prueba de Kruskal-Wallis muestra que hay una diferencia significativa en las medianas de la concentración media diaria entre los días sin

inversión térmica, con inversión y con inversión prolongada ( $p < 0,001$ ), (Figura 4.16). Ningún día se han superado los valores límites de contaminantes.

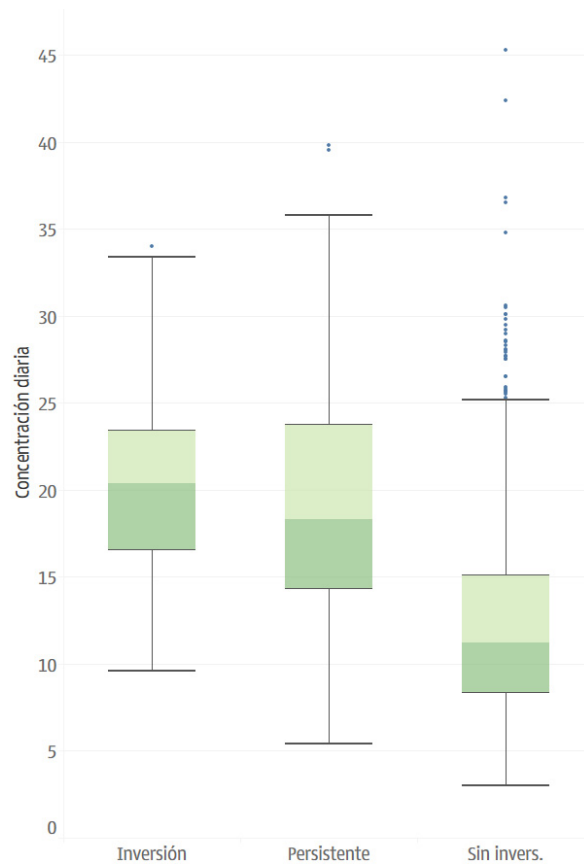


Figura 4.16. Concentración media diaria de  $PM_{2,5}$  según ocurrencia y duración de las inversiones térmicas

#### 4.5 ITS, CALIDAD DELAIRE E INGRESOS HOSPITALARIOS POR ASMA

Durante los trimestres en los que se producen inversiones térmicas persistentes (trimestre uno y cuatro) los ingresos medios diarios fueron 12,1 (desviación estándar 4,3) y una mediana de 12,0 (rango intercuartil de 6,0).

Cuando se estudia conjuntamente el total de los ingresos hospitalarios, los días de inversión térmica prolongada, la concentración media de dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) y la de partículas en suspensión de diámetro inferior a  $10 \mu m$ , agrupándolos por trimestres y semanas de cada trimestre se observa una “sincronización” de todos estos fenómenos (Figura 4.17 y 4.18). Durante el primer trimestre coinciden los periodos de aumento y disminución de los días de inversión térmica prolongada, y de las concentraciones de  $PM_{10}$  y  $NO_2$ , con el aumento y disminución del número de ingresos hospitalarios.

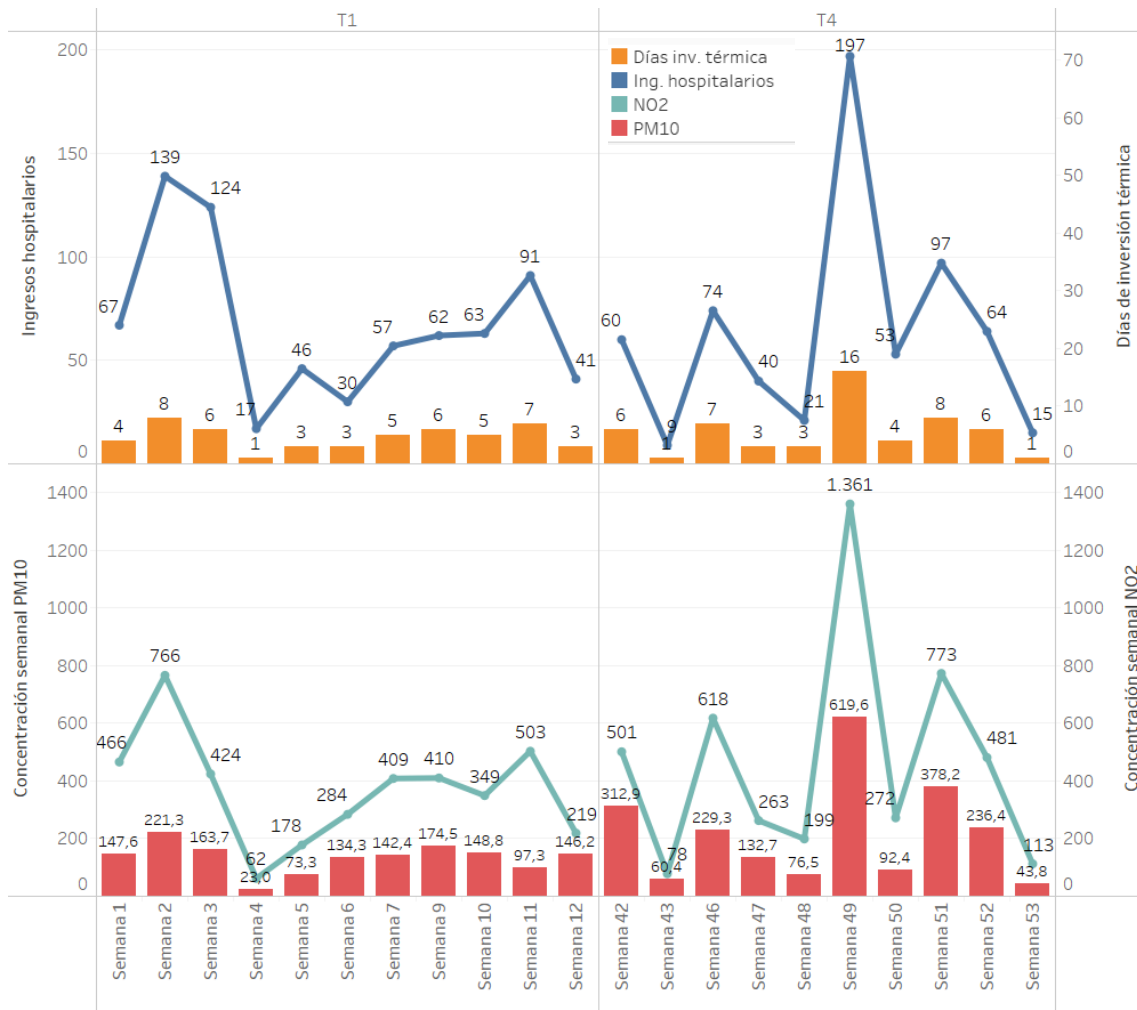


Figura 4.17. Relación entre el total de ingresos hospitalarios y de días de inversión térmica persistente, y la media de partículas PM<sub>10</sub> y NO<sub>2</sub> durante el primer trimestre (T1 y semanas 1 -12) y durante el cuarto trimestre (T4 y semanas 42-53) en el periodo estudiado.

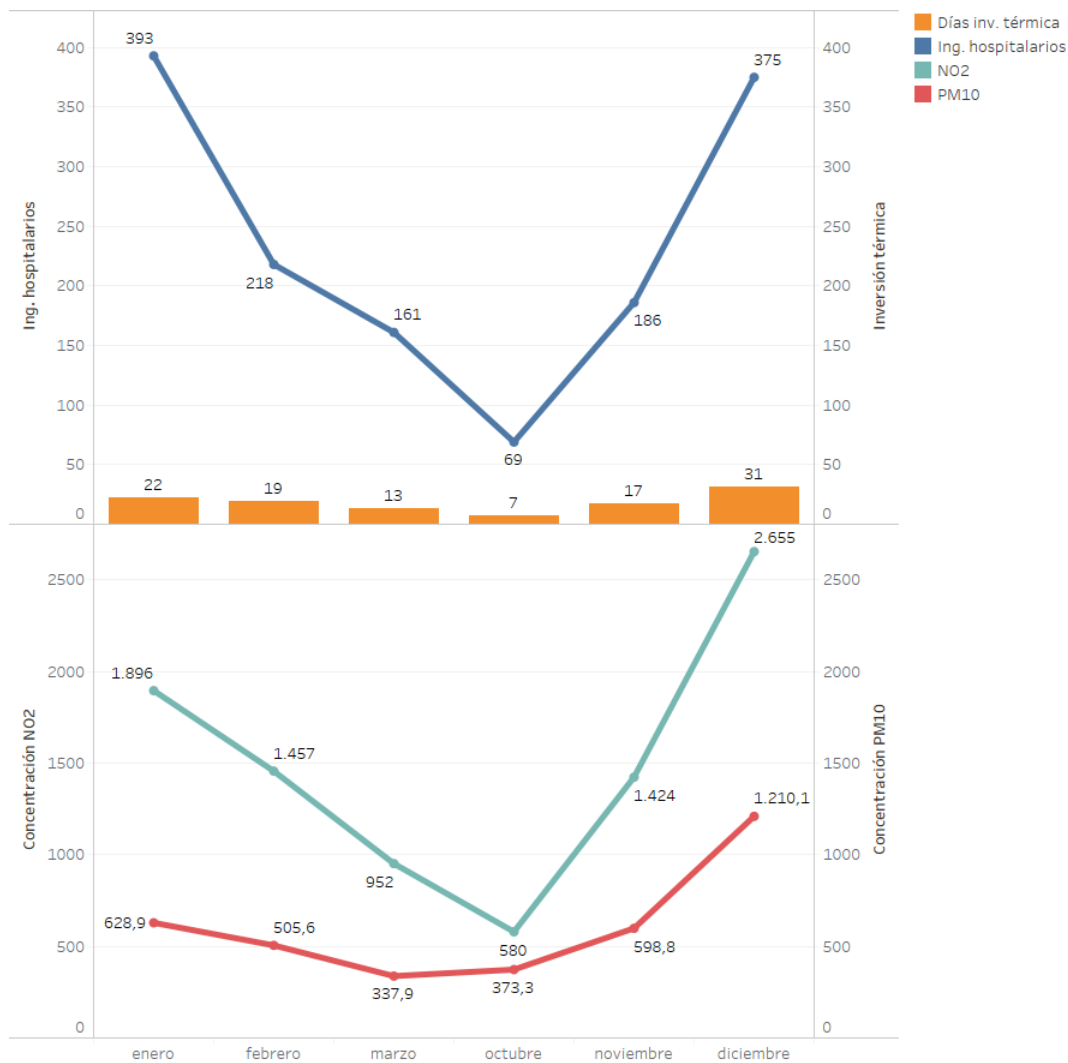


Figura 4.18. Relación entre el total de ingresos hospitalarios y de días de inversión térmica persistente, y la media de partículas PM<sub>10</sub> y NO<sub>2</sub> durante el primer trimestre (T1) y los meses de enero, febrero y marzo y durante el cuarto trimestre (T4) y los meses de octubre noviembre y diciembre en el periodo estudiado.

Durante los periodos de inversión térmica prolongada no se encuentra una relación estadísticamente significativa con los ingresos totales con la prueba de Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ) pero sí con los ingresos del grupo de edad  $\geq 65$  años ( $p < 0,001$ ). Aumentando un día más el periodo de inversión térmica prolongada se encuentra una relación estadísticamente significativa con los ingresos totales con la prueba de Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ) y con los ingresos del grupo de edad  $\geq 65$  años ( $p < 0,001$ ). Esta situación se mantiene igual si aumentamos la duración del periodo estudiado en dos y tres días. El efecto de los periodos de inversión térmica persistente sobre los ingresos hospitalarios por asma se manifiesta, de forma estadísticamente significativa, a partir del día siguiente a la finalización del periodo.

## 5 DISCUSIÓN

En la actualidad hay evidencias que muestran que la morbilidad relacionada con el asma ha ido aumentando en los últimos años (Linneberg et al., 2001; Lopez Pereira et al., 2017). Esta tendencia ha despertado el interés por el estudio de los diferentes factores ambientales que podrían estar asociados al riesgo de desarrollar asma (Sanidad, 2000). Los factores climatológicos y la contaminación atmosférica se encuentran entre los más citados (Wardlaw, 1993; Koenig, 1999).

La Comunidad de Madrid constituye un ámbito adecuado para estudiar la relación entre los contaminantes atmosféricos y los ingresos hospitalarios relacionadas con el asma, pues presenta unas condiciones climatológicas con frecuentes situaciones anticiclónicas que impiden la dispersión de los contaminantes emitidos en el ámbito urbano. Cuando estas situaciones persisten en el tiempo se producen periodos de pobre ventilación que conducen a la acumulación de los contaminantes en la zona y al desarrollo de episodios de contaminación urbana (Rasilla et al., 2018). Además, desde el punto de vista sanitario cuenta con un sistema sanitario público que garantiza el acceso universal a la atención sanitaria a toda la población y buenos sistemas de registro de la actividad sanitaria.

En nuestro estudio, en el periodo comprendido entre 2009 y 2015 se ha producido una tasa de incremento de los ingresos hospitalarios del 16,6%, que predominan en el grupo de edad de los mayores de 65 años, lo que está en consonancia con el aumento de la morbilidad por asma detectado en otros lugares. Este incremento no puede achacarse a un aumento similar de la población, pues la tasa de crecimiento de ésta fue de solo el 0,7%. Es interesante observar que los ingresos siguen un patrón temporal similar todos los años, siendo mayores durante el primer, segundo y cuarto trimestre. Además, los ingresos hospitalarios son más frecuentes en las mujeres en todos los grupos de edad, salvo en el de 0-14 años, en que es más frecuente en niños y adolescentes de género masculino. Este hecho no resulta sorprendente pues hay diferencias en la prevalencia del asma en función del género y, además, estas características varían a lo largo de las fases reproductivas de la vida. En la infancia, los niños tienen una mayor prevalencia de asma en comparación con las niñas. Sin embargo, en la edad adulta, las mujeres tienen una mayor prevalencia de asma en comparación con los hombres. Diferentes factores, como la genética, el entorno, las respuestas inmunológicas y las hormonas sexuales, parecen influir

en las diferencias por género en la frecuencia y gravedad del asma. Por ejemplo, las fluctuaciones hormonales durante la pubertad, la menstruación, el embarazo y la menopausia alteran los síntomas y la gravedad del asma en las mujeres (Fuseini y Newcomb, 2017; Shah y Newcomb, 2018).

La existencia de inversiones térmicas puede contribuir a un aumento de la contaminación ambiental y aumentar los episodios de asma de la población (Beard et al., 2012). Durante el periodo estudiado se han producido 51 episodios de inversión térmica con una duración de 161 días. Estos episodios se producen en el primer y cuarto trimestre de todos los años, con la sola excepción del año 2010 en que solo se producen en el cuarto trimestre y el año 2012 en el que hay una inversión térmica de un día en el tercer trimestre. Los episodios persistentes de inversión térmica, ocurren exclusivamente durante los trimestres primero y cuarto. Se registraron 17 episodios de inversión térmica prolongada con una duración de 108 días. Por tanto, aunque las inversiones térmicas persistentes pueden contribuir a aumentar los ingresos hospitalarios no se pueden considerar la única causa, como pone de manifiesto el número de ingresos durante el segundo trimestre, periodo durante el que no hemos encontrado inversiones térmicas. Otros agentes que pueden estar implicados son el polen, hongos o la interacción que pueden tener con agentes contaminantes (White et al., 1994). La presencia de inversiones térmicas muestra una diferencia significativa sobre las temperaturas máximas y mínimas. En Navacerrada tanto las temperaturas máximas como las mínimas son superiores durante los días de inversión mientras que en Barajas las temperaturas máximas son superiores mientras que las mínimas son inferiores. Una de las consecuencias inmediatas de las inversiones térmica es la exageración del ciclo térmico diario. La mayor amplitud térmica se da en lugares como Barajas pues la temperatura máxima diurna aumenta y las mínimas descienden por debajo de los 0° C. Esto es debido a que están situada en el fondo de un valle, dónde la frecuencia y efectos de las inversiones es máxima. En cambio en las zonas altas como Navacerrada existe una menor variabilidad (Rasilla et al., 2018). De forma similar durante los periodos de inversión la humedad se concentra en los valles dando lugar a nieblas persistentes y heladas. Además, la velocidad media del viento es inferior durante las inversiones térmicas y este fenómeno es más acentuado en Barajas. La ausencia de viento impide disipar la contaminación, por lo que las partículas perjudiciales para la salud se mantienen suspendidas en el aire durante más tiempo. Finalmente, el porcentaje de horas de insolación es muy superior durante las inversiones térmicas que durante las épocas de ausencia de inversiones.



En el periodo estudiado aparece una relación estadísticamente significativa entre la existencia de inversiones térmicas y el aumento de los niveles de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, ozono, partículas en suspensión mayores de 10 micras y partículas en suspensión mayores de 2,5 micras, mientras que los niveles de ozono (O<sub>3</sub>) disminuyen. Además, durante esos días se superaron los umbrales de NO<sub>2</sub> (25% de los días) y PM<sub>10</sub> (15% de los días). Este sustancial empeoramiento de la calidad del aire durante las inversiones térmicas tiene que ver con una reducción significativa de la capacidad dispersiva de la atmósfera. Las elevadas temperaturas observadas en Navacerrada muestran la potencia de las advecciones de aire cálido en altura, que limitan la convección y, por ende, la dispersión vertical de los contaminantes. Al mismo tiempo, la ausencia de viento en superficie limita igualmente la dispersión horizontal de los contaminantes a ámbitos alejados del núcleo urbano. Finalmente, el porcentaje de horas de insolación es muy superior durante las inversiones térmicas que el resto del tiempo, pero la baja altura del sol sobre el horizonte impide que la radiación alcance valores altos que pudieran desencadenar cierta inestabilidad.

La relación entre los niveles de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> durante los episodios de inversión térmica y su posible relación con el asma ha sido identificada en algunos trabajos (Thompson et al., 2001; Linares y Diaz, 2009; Beard et al., 2012). Sin embargo, no está claro si alguna de estas sustancias es la responsable directa del aumento de los episodios de asma, si puede tratarse de un efecto conjunto de varios de ellos o incluso ayudadas por ciertas variables meteorológicas. Durante el primer y cuarto trimestre del periodo de 2009-2015 si existe una relación entre el número de días de inversión térmica persistente y el número de ingresos hospitalarios que aumentan y disminuyen en sincronía con las oscilaciones de los días de inversión. Simultáneamente existe un aumento y disminución en los niveles de PM<sub>10</sub> y NO<sub>2</sub>, sustancias que como se ha señalado pueden tener relación con la aparición y/o agravamiento del asma.

Respecto a los ingresos hospitalarios, no se ha encontrado una relación estadísticamente significativa entre el aumento de los ingresos hospitalarios totales por asma y los episodios de inversión térmica persistente, aunque sí aparece en el grupo de edad  $\geq 65$  años, las personas con peor salud y más sensibles a los efectos de la contaminación. Hay que señalar que en este estudio los datos sobre las inversiones térmicas proceden de dos observatorios meteorológicos por lo que puede que el efecto de la inversión en los niveles

de contaminación y su efecto sobre los ingresos hospitalarios no sea igual en toda la comunidad.

Sin embargo, el efecto de las inversiones térmicas persistentes puede no ser inmediato y parece existir una fase tardía de 3-4 días tras la inversión durante la que los síntomas se acentúan y esto puede explicar que los ingresos aumenten días después de que se produjera la exposición a los contaminantes (Schwartz et al., 1993; Castellsague et al., 1995). Aumentando un día el periodo estudiado ya encontramos una asociación significativa entre ingresos y episodios de inversión térmica prolongada para los ingresos totales y en el grupo de edad de  $\geq 65$  años. Además, este hallazgo se mantiene cuando estudiamos un periodo 2 o 3 días mayor que la duración del episodio de inversión térmica persistente. Este hallazgo, aunque significativo, no recoge toda la influencia que las inversiones térmicas persistentes pueden tener sobre el agravamiento del asma pues no todas las personas afectadas requieren hospitalización y un estudio de mayor magnitud podría considerar también a las personas que acuden a urgencias pero no requieren hospitalización (Castellsague et al., 1995; Beard et al., 2012; Ding et al., 2017; Guo et al., 2018).

## 6 CONCLUSIONES

Las inversiones térmicas son un fenómeno atmosférico habitual en la Comunidad de Madrid, apareciendo habitualmente en los meses invernales. Las condiciones atmosféricas que acompañan a las inversiones propician una acumulación de los contaminantes emitidos por procesos generados en la propia ciudad de Madrid (tráfico y calefacciones, fundamentalmente), como son el NO<sub>2</sub>, las partículas (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>) y en menor medida, el SO<sub>2</sub>. Los periodos prolongados de inversiones térmicas, acompañados de niveles elevados de esos contaminantes, son propicios al aumento de los ingresos hospitalarios por problemas de asma en los grupos de población de mayor edad.

En la Comunidad de Madrid se produjeron 25.024 ingresos hospitalarios por asma desde 2009 a 2015. Siguen un patrón trimestral, siendo más frecuentes durante el primer, segundo y cuarto trimestre todos los años y el grupo de edad más afectado es el de las mujeres  $\geq 65$  años.

En el mismo periodo se produjeron 51 episodios de inversión térmica con una duración de 161 días y 17 episodios de inversión térmica persistente que duraron 108 días. Se concentraron en el primer y cuarto trimestre de todos los años, excepto en el año 2010 en que solo ocurren en el cuarto trimestre y en el año 2012 en el que hay un día de inversión en el tercer trimestre.

Las concentraciones medias diarias de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> son superiores durante los días de inversión térmica y esa diferencia es estadísticamente significativa. Asimismo, lo es el número de días que se superan los valores permisibles de NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> frente a los días sin inversión térmica.

Durante el periodo comprendido entre 2009 y 2015 en la Comunidad de Madrid existe una relación estadísticamente significativa entre los ingresos hospitalarios por asma en el grupo de edad  $\geq 65$  años y los periodos de inversión térmica persistente. Como el efecto de los contaminantes puede no ser inmediato, a partir de un día más tras el periodo de inversión térmica persistente ya se detecta una asociación con los ingresos hospitalarios totales por asma.

## 7 ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1.1. Perfil de temperatura correspondiente al día 8 de enero de 2020, en el que se aprecia el fenómeno de la inversión térmica durante la mayor parte del día. Fuente: <a href="http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/calaire/SistemaIntegral/SistPrediccion/red_meteo.html">http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/calaire/SistemaIntegral/SistPrediccion/red_meteo.html</a> .	7
Figura 1.2. Capa de “smog” con su color característico. Fuente: <a href="https://salyroca.publico.es/articulo/vida-eco/boina-madrid-imagenes/20210118110335006735.html">https://salyroca.publico.es/articulo/vida-eco/boina-madrid-imagenes/20210118110335006735.html</a> .	10
Figura 1.3. Mapa topográfico de Madrid. Fuente: <a href="https://maps-for-free.com">https://maps-for-free.com</a> .	13
Figura 1.4. Pirámide de la población año 2015. Fuente: Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid ( <a href="http://www.madrid.org/iestadis/fijas/estructu/demograficas/censos/ipob_ref_3.htm">http://www.madrid.org/iestadis/fijas/estructu/demograficas/censos/ipob_ref_3.htm</a> ).	14
Figura 1.5. Climograma de Madrid, periodo 1981-2010. Fuente: <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Clima_de_Madrid">https://es.wikipedia.org/wiki/Clima_de_Madrid</a> .	15
Figura 3.1. Ubicación de las 24 Estaciones Remotas automáticas que recogen la información básica para la vigilancia atmosférica estaciones del Sistema de Vigilancia. Fuente: <a href="http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/calaire/SistemaIntegral/SistVigilancia/">http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/calaire/SistemaIntegral/SistVigilancia/</a> .	18
Figura 3.2. Diferencia en duración entre la “inversión térmica” y el “episodio de inversión térmica persistente”.	20
Figura 4.1. Ingresos hospitalarios anuales por asma y grupos de edad.	22
Figura 4.2. Ingresos hospitalarios anuales por asma, grupos de edad y género.	23
Figura 4.3. Ingresos hospitalarios por trimestres, grupos de edad y género a lo largo del periodo.	23
Figura 4.4. Inversiones térmicas anuales y por trimestre del año, mostrando el número de días de inversión y el número de episodios.	24
Figura 4.5. Frecuencia de las rachas de inversiones térmicas en función de su duración en días.	25
Figura 4.6. Episodios de inversión térmica persistentes por año, trimestre, semana y día.	26
Figura 4.7. Temperaturas máximas en Barajas y Navacerrada según ocurrencia y duración de las inversiones térmicas.	27
Figura 4.8. Temperaturas mínimas en Barajas y Navacerrada según ocurrencia y duración de las inversiones térmicas.	27
Figura 4.9. Humedad relativa en Barajas y Navacerrada según ocurrencia y duración de las inversiones térmicas.	28
Figura 4.10. Velocidad media del viento (km/h) en Barajas y Navacerrada según ocurrencia y duración de las inversiones térmicas.	29

Figura 4.11. Ratio de horas de insolación en Barajas y Navacerrada según ocurrencia y duración de las inversiones térmicas.	29
Figura 4.12. Concentración media diaria de SO <sub>2</sub> según ocurrencia y duración de las inversiones térmicas.	31
Figura 4.13. Concentración media diaria de NO <sub>2</sub> según ocurrencia y duración de las inversiones térmicas.	33
Figura 4.14. Concentración media diaria de ozono según ocurrencia y duración de las inversiones térmicas.	34
Figura 4.15. Concentración media diaria de PM <sub>10</sub> según ocurrencia y duración de las inversiones térmicas,	35
Figura 4.16. Concentración media diaria de PM <sub>2,5</sub> según ocurrencia y duración de las inversiones térmicas.	36
Figura 4.17. Relación entre el total de ingresos hospitalarios y de días de inversión térmica persistente, y la media de partículas PM <sub>10</sub> y NO <sub>2</sub> durante el primer trimestre (T1 y semanas 1-12) y durante el cuarto trimestre (T4 y semanas 42-53) en el periodo estudiado.	37
Figura 4.18. Relación entre el total de ingresos hospitalarios y de días de inversión térmica persistente, y la media de partículas PM <sub>10</sub> y NO <sub>2</sub> durante el primer trimestre (T1) y los meses de enero, febrero y marzo y durante el cuarto trimestre (T4) y los meses de octubre noviembre y diciembre en el periodo estudiado.	38

## Tablas

Tabla 1.1. Evolución anual de la población en la Comunidad de Madrid. Fuente: Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid	13
Tabla 3.1. Ubicación de los observatorios meteorológicos empleados en el estudio.	17

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- Arrotta, N., Hill, J., Villa-Roel, C., Dennett, E., Harries, M. y Rowe, B. H. (2019). Factors associated with hospital admission in adult patients with asthma exacerbations: A systematic review. *J Asthma* 56 (1), 34-41.
- Ballester Díez, F., Tenías, J. M. y Pérez-Hoyos, S. (1999). Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: una introducción. *Rev. Esp. Salud Publica* 73 (2), 109-121.
- Beard, J. D., Beck, C., Graham, R., Packham, S. C., Traphagan, M., Giles, R. T. y Morgan, J. G. (2012). Winter temperature inversions and emergency department visits for asthma in Salt Lake County, Utah, 2003-2008. *Environ Health Perspect* 120 (10), 1385-1390.
- Castellsague, J., Sunyer, J., Saez, M. y Anto, J. M. (1995). Short-term association between air pollution and emergency room visits for asthma in Barcelona. *Thorax* 50 (10), 1051-1056.
- D'Amato, G., Liccardi, G., D'Amato, M. y Holgate, S. (2005). Environmental risk factors and allergic bronchial asthma. *Clin Exp Allergy* 35 (9), 1113-1124.
- Davis, D. L., Bell, M. L. y Fletcher, T. (2002). A look back at the London smog of 1952 and the half century since. *Environ Health Perspect* 110 (12), 734-745.
- Ding, P. H., Wang, G. S., Guo, Y. L., Chang, S. C. y Wan, G. H. (2017). Urban air pollution and meteorological factors affect emergency department visits of elderly patients with chronic obstructive pulmonary disease in Taiwan. *Environ Pollut* 224, 751-758.
- Enger, E. D. y Smith, B. F. (2006). *Ciencia ambiental. Un estudio de interrelaciones. Décima edición.* Mexico D.F.: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Evangelopoulos, D., Chatzidiakou, L., Walton, H., Katsouyanni, K., Kelly, F. J., Quint, J. K., Jones, R. L. y Barratt, B. (2021). Personal exposure to air pollution and respiratory health of COPD patients in London. *Eur Respir J (in press)*.

- Fernandez de Arroyabe Hernáez, P., Santurtún Zarrabeitia, A. y Villar Fernandez, A. G. (2018). Los sistemas ETL-OLAP como herramientas de análisis multidimensional en el campo de la Geografía Médica y la Biometeorología In *XVIII Congreso Nacional TIG*. Valencia: 22 - 22 junio.
- Ferrándiz Santosa, J. A., Pardo Hernández, A., Navarro Royoa, C., Moreno Matéa, E. y Prados Roab, F. (2018). Modelo EFQM en los hospitales del Servicio Madrileño de Salud: ciclo completo de autoevaluación. *J. Healthc. Qual. Res.* 33 (5), 298-334.
- Fuseini, H. y Newcomb, D. C. (2017). Mechanisms Driving Gender Differences in Asthma. *Curr Allergy Asthma Rep* 17 (3), 19.
- Gomez-Llorente, M. A., Romero, R., Chueca, N., Martinez-Canavate, A. y Gomez-Llorente, C. (2017). Obesity and Asthma: A Missing Link. *Int J Mol Sci* 18 (7), 4-12.
- Guo, P., Feng, W., Zheng, M., Lv, J., Wang, L., Liu, J., Zhang, Y., Luo, G., Zhang, Y., Deng, C., Shi, T., Liu, P. y Zhang, L. (2018). Short-term associations of ambient air pollution and cause-specific emergency department visits in Guangzhou, China. *Sci Total Environ* 613-614, 306-313.
- Hassan Bhat, T., Jiawen, G. y Farzaneh, H. (2021). Air Pollution Health Risk Assessment (AP-HRA), Principles and Applications. *Int J Environ Res Public Health* 18 (4), 1-22.
- Helfand, W. H., Lazarus, J. y Theerman, P. (2001). Donora, Pennsylvania: an environmental disaster of the 20th century. *Am J Public Health* 91 (4), 553.
- Jacobs, E. T., Burgess, J. L. y Abbott, M. B. (2018). The Donora Smog Revisited: 70 Years After the Event That Inspired the Clean Air Act. *Am J Public Health* 108 (S2), S85-S88.
- Koenig, J. Q. (1999). Air pollution and asthma. *J Allergy Clin Immunol* 104 (4), 717-722.
- Largerón, Y. y Staquet, C. (2016). Persistent inversion dynamics and wintertime PM10 air pollution in Alpine valleys. *Atmospheric Environment* 135, 92-108.

- Linares, C. y Diaz, J. (2009). Impact of particulate matter with diameter of less than 2.5 microns [PM2.5] on daily hospital admissions in 0-10-year-olds in Madrid. Spain [2003-2005]. *Gac Sanit* 23 (3), 192-7.
- Linneberg, A., Nielsen, N. H., Madsen, F., Frolund, L., Dirksen, A. y Jorgensen, T. (2001). Secular trends of allergic asthma in Danish adults. The Copenhagen Allergy Study. *Respir Med* 95 (4), 258-264.
- Lopez-Costas, O., Kylander, M., Mattielli, N., Alvarez-Fernandez, N., Perez-Rodriguez, M., Mighall, T., Bindler, R. y Martinez Cortizas, A. (2020). Human bones tell the story of atmospheric mercury and lead exposure at the edge of Roman World. *Sci Total Environ* 710, 1-7.
- Lopez Pereira, P., Gandarillas Grande, A. M., Diez Ganan, L. y Ordobas Gavin, M. (2017). [Evolution of Asthma Prevalence and Sociodemographic and Health Factors Associated in Madrid Region (1996-2013)]. *Rev Esp Salud Publica* 91, 1-14.
- Mitchell, E. A. (1985). International trends in hospital admission rates for asthma. *Arch Dis Child* 60 (4), 376-378.
- Ortega-Garcia, J. A., Martinez-Hernandez, I., Boldo, E., Carceles-Alvarez, A., Solano-Navarro, C., Ramis, R., Aguilar-Ros, E., Sanchez-Solis, M. y Lopez-Hernandez, F. (2020). [Urban air pollution and hospital admissions for asthma and acute respiratory disease in Murcia city (Spain)]. *An Pediatr (Barc)* 93 (2), 95-102.
- Palmieri, S., Durante, G., Siani, A. M. y Casale, G. R. (2008). Atmospheric stagnation episodes and hospital admissions. *Public Health* 122 (10), 1128-1130.
- Ponka, A. (1991). Asthma and low level air pollution in Helsinki. *Arch Environ Health* 46 (5), 262-270.
- Ponka, A. y Virtanen, M. (1996). Asthma and ambient air pollution in Helsinki. *J Epidemiol Community Health* 50 Suppl 1, s59-62.



- Ponte, E. V., Mingotti, C. F. B., Mamoni, R. L., Marchi, E., Martinelli, J. E., de Menezes, M. B., Vianna, E. y Cruz, A. A. (2021). Hospital admission rate in children and adolescents with mild persistent asthma. *Pediatr Pulmonol (in press)*.
- Rasilla, D., Allende, F., Martilli, A. y Fernández, F. (2019). Heat Waves and Human Well-Being in Madrid (Spain). *Atmosphere* 10 (5), 1-21.
- Rasilla, D., Fernández García, F., Allende, F. y Martilli, A. (2018). Estancamiento atmosférico e inversiones térmicas en la meseta meridional. In *XI Congreso de la Asociación Española de Climatología*. Cartagena.
- Rodríguez Rodríguez, M., Antolín Amérigo, D., Barbarroja Escudero, J. y Sánchez González, M. J. (2017). Actualización en asma. *Medicine - Programa de Formación Médica Continuada Acreditado* 12 (30), 1745-1756.
- Romieu, I., Meneses, F., Sienna-Monge, J. J., Huerta, J., Ruiz Velasco, S., White, M. C., Etzel, R. A. y Hernandez-Avila, M. (1995). Effects of urban air pollutants on emergency visits for childhood asthma in Mexico City. *Am J Epidemiol* 141 (6), 546-553.
- Rosas, I., McCartney, H. A., Payne, R. W., Calderon, C., Lacey, J., Chapela, R. y Ruiz-Velazco, S. (1998). Analysis of the relationships between environmental factors (aeroallergens, air pollution, and weather) and asthma emergency admissions to a hospital in Mexico City. *Allergy* 53 (4), 394-401.
- Sanchez, H. U., Garcia, M. D., Bejaran, R., Guadalupe, M. E., Vazquez, A. W., Toledano, A. C. y Villasenor Ode, L. (2009). The spatial-temporal distribution of the atmospheric polluting agents during the period 2000-2005 in the Urban Area of Guadalajara, Jalisco, Mexico. *J Hazard Mater* 165 (1-3), 1128-1141.
- Sanidad, D. G. d. S. P. C. d. (2000). Vigilancia del asma. *Boletín Epidemiológico de la Comunidad de Madrid* 12, 33-41.
- Schwartz, J., Slater, D., Larson, T. V., Pierson, W. E. y Koenig, J. Q. (1993). Particulate air pollution and hospital emergency room visits for asthma in Seattle. *Am Rev Respir Dis* 147 (4), 826-831.

- Shah, R. y Newcomb, D. C. (2018). Sex Bias in Asthma Prevalence and Pathogenesis. *Front Immunol* 9, 2997-3008.
- Thompson, A. J., Shields, M. D. y Patterson, C. C. (2001). Acute asthma exacerbations and air pollutants in children living in Belfast, Northern Ireland. *Arch Environ Health* 56 (3), 234-241.
- Wardlaw, A. J. (1993). The role of air pollution in asthma. *Clin Exp Allergy* 23 (2), 81-96.
- White, M. C., Etzel, R. A., Wilcox, W. D. y Lloyd, C. (1994). Exacerbations of childhood asthma and ozone pollution in Atlanta. *Environ Res* 65 (1), 56-68.
- Yadav, R., Deora, S. y Yadav, G. (2021). Air pollution and its impact on cardiovascular health - It's time to act fast! *Indian Heart J* 73 (1), 1-6.