

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE GANDÍA

Grado en Ciencias Ambientales

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA POLITÈCNICA  
SUPERIOR DE GANDIA

**“Estudio de los efectos de la  
contaminación atmosférica sobre la  
salud en la comarca de la Safor  
(2010-2014): ingresos hospitalarios  
respiratorios y cardiacos”**

**TRABAJO FINAL DE GRADO**

Autor/a:

**Inés Fernández Ángel**

Tutor/a:

**Jose Manuel Soler Torro**

**GANDIA, 2015**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero expresar mi agradecimiento al Hospital Francesc de Borja y al Servicio de Epidemiología del Centro de Salud Pública de Gandía por facilitarme amablemente los datos clínicos, ya que sin ellos no podría haber sido posible la realización del estudio.

Agradezco a mi tutor Jose Manuel Soler Torro, por darme la oportunidad de llevar a cabo un proyecto sobre salud ambiental aceptando mi propuesta desde un primer momento, además de aportarme conocimientos y sugerencias, guiándome a lo largo de la realización del mismo.

Por último, agradecer a mi familia el apoyo recibido.

## RESUMEN

Se sabe que existe un efecto a corto plazo de algunos contaminantes del aire sobre ingresos cardiovasculares y respiratorios en áreas urbanas e industriales, aunque hay escasos datos sobre áreas semirurales. El Trabajo Final de Grado se centra en evaluar dicha relación en la comarca de la Safor entre 2010 y 2014. Es un estudio ecológico en el que se analizan la evolución y los valores diarios de los contaminantes en base a la legislación y se estudia, mediante modelos de Regresión de Poisson, la relación entre los valores diarios de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO y O<sub>3</sub> y el número de ingresos diarios urgentes por patología respiratoria y circulatoria (cardiovascular y cerebrovascular) utilizando variables meteorológicas y la incidencia diaria de gripe como variables de control. A pesar de que los niveles de contaminantes se sitúan por debajo de los establecidos por la normativa, existe una relación estadísticamente significativa ( $P < 0,05$ ) entre el número de ingresos urgentes respiratorios y los niveles ambientales de NO<sub>2</sub> (odds ratio [OR] 0,94), CO (OR 1,41) y PM<sub>2,5</sub> (OR 1,004) y entre los ingresos urgentes circulatorios (cardiovasculares y cerebrovasculares) y los niveles de PM<sub>10</sub>, (OR 1.005) y de PM<sub>2,5</sub> (OR 0,99).

Palabras clave: Contaminación atmosférica. Ingresos hospitalarios. Enfermedades respiratorias. Enfermedades cardiovasculares. Enfermedades cerebrovasculares.

## ABSTRACT

It is known that it exists a short-term effect of some air pollutants on admissions for cardiovascular and respiratory diseases in urban and industrial areas, but there are limited data on semi-rural areas. The project focuses on evaluating that relationship in the region of Safor throughout the 2010-2014 period. It is an ecological study that analyzes the evolution and the daily values of pollutants based on the legislation, and it is studied by building Poisson regression models, the relationship between the daily levels of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO and O<sub>3</sub> and the number of daily admissions for respiratory and heart (cardiovascular or cerebrovascular) diseases. Although pollutants levels are below the values established by the legislation, there is a statistically significant relationship ( $P < 0,05$ ) between the number of respiratory emergency admissions and ambient levels of NO<sub>2</sub> (odds ratio [OR] 0,94), CO (OR 1,41) and PM<sub>2,5</sub> (OR 1,004), and between heart emergency admissions (cardiovascular or cerebrovascular) and ambient levels of de PM<sub>10</sub>, (OR 1.005) and de PM<sub>2,5</sub> (OR 0,99).

Keywords: Air pollution. Hospital admissions. Respiratory diseases. Cardiovascular diseases. Cerebrovascular diseases.

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	6
1.1.	PRINCIPALES CONTAMINANTES Y FUENTES DE PRODUCCIÓN.....	6
1.1.1.	MARCO NORMATIVO.....	6
1.1.2.	NIVELES DE CONTAMINANTES EN NUESTRO MEDIO.....	7
1.2.	EFFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE SOBRE LA SALUD.....	7
1.2.1.	ENFERMEDADES RESPIRATORIAS.....	8
1.2.2.	ENFERMEDADES CARDIOVASCULARES Y CEREBROVASCULARES.....	9
1.3.	PRINCIPALES ESTUDIOS SOBRE CONTAMINACIÓN Y SALUD.....	9
1.4.	JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	11
2.	HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	12
2.1.	OBJETIVO PRINCIPAL.....	12
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3.	MATERIAL Y MÉTODOS.....	13
3.1.	DISEÑO.....	13
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	13
3.3.	VARIABLES.....	13
3.3.1.	VARIABLES DEPENDIENTES.....	13
3.3.2.	VARIABLES INDEPENDIENTES.....	14
3.4.	OBTENCIÓN DE LOS DATOS Y TRATAMIENTO.....	15
3.4.1.	DATOS DE MORBILIDAD (INGRESOS HOSPITALARIOS).....	15
3.4.2.	DATOS AMBIENTALES.....	15
3.4.3.	COVARIABLES.....	15
3.5.	CONSIDERACIONES ÉTICAS.....	16
3.6.	ESTRATEGIA DE ANÁLISIS.....	16
3.6.1.	ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS CONTAMINANTES.....	16
3.6.2.	RELACIÓN ENTRE CONTAMINANTES E INGRESOS.....	16
3.7.	MEMORIA ECONÓMICA.....	19
4.	RESULTADOS.....	20
4.1.	VARIACIONES DIARIAS Y NIVELES RESPECTO A LA NORMATIVA VIGENTE.....	20
4.1.1.	DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO <sub>2</sub> ).....	20
4.1.2.	DIÓXIDO DE AZUFRE (SO <sub>2</sub> ).....	21
4.1.3.	MONÓXIDO DE CARBONO (CO).....	23
4.1.4.	OZONO (O <sub>3</sub> ).....	24
4.1.5.	MATERIAL PARTICULADO DE DIÁMETRO INFERIOR A 10 MICRAS (PM <sub>10</sub> ).....	26

4.1.6.	MATERIAL PARTICULADO DE DIÁMETRO INFERIOR A 2.5 MICRAS (PM <sub>2.5</sub> )	27
4.2.	MODELO DE ANÁLISIS TEMPORAL MEDIANTE REGRESIÓN DE POISSON.....	29
4.2.1.	RELACIÓN ENTRE LOS CONTAMINANTES Y MORBILIDAD RESPIRATORIA.....	29
4.2.2.	RELACIÓN ENTRE LOS CONTAMINANTES Y MORBILIDAD CARDIACA.....	32
5.	DISCUSIÓN.....	36
5.1.	ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS CONTAMINANTES.....	36
5.1.1.	NIVELES DE LOS CONTAMINANTES RESPECTO A LA NORMATIVA VIGENTE.....	36
5.1.2.	VARIACIONES ESTACIONARIAS DE LOS CONTAMINANTES.....	37
5.2.	RELACIÓN ENTRE CONTAMINANTES E INGRESOS.....	38
5.2.1.	MORBILIDAD RESPIRATORIA.....	38
5.2.2.	MORBILIDAD CARDIACA.....	39
5.3.	LIMITACIONES.....	40
6.	CONCLUSIONES.....	43
7.	REFERENCIAS.....	44

## ANEXOS

ANEXO 1: BASE DE DATOS

ANEXO 2: DATOS COMPLEMENTARIOS: PROMEDIOS DE DATOS AMBIENTALES Y REGRESIÓN POISSON MEDIANTE EL SOFTWARE STATGRAPHICS

# 1. INTRODUCCIÓN

Entendemos por contaminación atmosférica, la presencia en el aire de materias, sustancias o formas de energía que alteran la calidad del mismo, pudiendo implicar molestia grave, riesgo o daño para la salud de las personas, el medio ambiente y bienes de cualquier naturaleza [1].

A esta definición, viene ligado el término de contaminante atmosférico, que es una sustancia o forma de energía presente en la atmósfera, tanto de origen antropogénico como natural, en concentración suficiente y durante el tiempo necesario para inferir en la salud o bienestar de las personas o del medio ambiente [1].

## 1.1. PRINCIPALES CONTAMINANTES Y FUENTES DE PRODUCCIÓN

Los principales contaminantes atmosféricos son el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), ozono troposférico ( $\text{O}_3$ ) y material particulado ( $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$ ) [2].

La fuente de emisión principal del dióxido de nitrógeno es el tráfico de vehículos en las grandes ciudades y en algunas de las principales áreas metropolitanas [3], siendo también procedente de centrales térmicas y procesos industriales. Interviene en diferentes reacciones químicas dando lugar al ozono troposférico y material particulado de diámetro inferior o igual a 2.5 micras [4].

El ozono troposférico se forma como resultado de la reacción química entre contaminantes procedentes de fuentes de emisión como automóviles, plantas de energía o químicas entre otras, en presencia de luz solar [5]. Por ello, muestra niveles elevados en zonas suburbanas y rurales, debido a la alta insolación y a que se mantienen los niveles de emisión de sus precursores (compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno) [2].

Dentro del material particulado encontramos las partículas finas (diámetro menor o igual a 2.5 micras) y las partículas gruesas (diámetro entre 2.5 y 10 micras). Las partículas finas se forman principalmente mediante procesos mecánicos como obras de construcción, aunque también son emitidas por vehículos, mientras que las partículas gruesas proceden mayoritariamente de fuentes de combustión [6], las partículas naturales del mar, intrusiones de polvo sahariano, incendios forestales o quema agrícola también influyen en la concentración de  $\text{PM}_{10}$ , pero de forma minoritaria, siendo la actividad industrial y el transporte rodado los focos más importantes.

El dióxido de azufre se forma principalmente en procesos de combustión tales como la quema de combustibles fósiles sulfurados como el carbón o el petróleo, e incineración de residuos [4].

### 1.1.1. MARCO NORMATIVO

Desde el nacimiento de la Revolución Industrial en el S-XVIII, la contaminación del aire se ha ido agravando a lo largo del tiempo. Esta situación, ha dado lugar al desarrollo de una normativa que establece unos niveles de contaminantes en la atmósfera, que no deben sobrepasarse para la protección de la salud humana y los ecosistemas.

Para la realización del presente estudio se ha tenido en cuenta la normativa vigente en materia de calidad del aire a nivel estatal, sin embargo, se citará toda la normativa referente. Actualmente en España, la normativa en vigor es la siguiente:

- **Ley 34/2007**, de 15 de noviembre, **de calidad del aire y protección de la atmósfera** [7]. Su objetivo es establecer las bases en materia de prevención, vigilancia y reducción de la contaminación atmosférica con el fin de evitar y cuando esto no sea posible, aminorar los daños que de ésta puedan derivarse para las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza, y viene desarrollada por:
  - el **Real Decreto 102/2011**, de 28 de enero, **relativo a la mejora de la calidad del aire** [8], con la finalidad de evitar, prevenir y reducir los efectos nocivos de los contaminantes atmosféricos presentes en la ley anterior, sobre la salud humana, el medio ambiente en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza. Dicho Real Decreto transpone las siguientes directivas europeas:
    - **Directiva 2004/107/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de diciembre de 2004 relativa al **arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente**
    - **Directiva 2008/50/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la **calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa**.

Actualmente, la normativa no incluye valores límite de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y óxido nítrico (NO) para la protección de la salud. Sin embargo, se incluyen en el estudio por su influencia en otros contaminantes y en la salud humana.

### 1.1.2. NIVELES DE CONTAMINANTES EN NUESTRO MEDIO

Según el informe de “Evaluación de la calidad del aire en España 2013” [2], los contaminantes que presentan valores superiores a los límites establecidos por la legislación, son el NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y PM<sub>10</sub>, aunque los niveles de concentración de este último han sufrido un descenso.

Reduciendo el análisis del estado de la calidad del aire a la zona de estudio del proyecto, el documento de “Evaluación de la calidad del aire en la Comunidad Valenciana, Zona Bética-Serpis (A. Costera) 2013” [9] en el que está incluida la comarca de la Safor, muestra que en ningún caso han sido superados por ningún contaminante los valores límites establecidos, e incluso se encuentran bastante alejados. Se trata de una comarca semirural, por tanto, el nivel de contaminación no debe ser muy alto.

### 1.2. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE SOBRE LA SALUD

El progresivo deterioro de la calidad del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud humana. Según estimaciones de 2012 de la OMS (Organización Mundial de la Salud) [10] en zonas rurales y ciudades de todo el mundo, la contaminación atmosférica provoca cada año aproximadamente 3,7 millones de muertes prematuras.

Cabe destacar que los contaminantes no actúan siempre de la misma forma en nuestro organismo, dependen de diversos factores. El efecto viene determinado por el tipo de contaminante, la concentración del mismo, el tiempo de exposición y la sensibilidad del receptor, es decir, la edad, su estado de salud o el padecimiento de alguna enfermedad entre otros.

### **1.2.1. ENFERMEDADES RESPIRATORIAS**

Muchos estudios han demostrado la influencia de la contaminación atmosférica en la aparición o empeoramiento de determinadas enfermedades, sobre todo las que afectan al sistema respiratorio [4-6, 11]. La inhalación de aire que presenta contaminantes, supone daños para el mismo.

El dióxido de nitrógeno afecta al parénquima pulmonar (parte del pulmón que contiene los alveolos y se encarga del intercambio gaseoso) [6], disminuyendo la resistencia de los pulmones a infecciones o enfermedades respiratorias como asma, bronquitis o pulmonía [11]. La exposición a altos niveles de concentración en un corto periodo de tiempo causa daños en las células pulmonares, mientras que la exposición a bajos niveles de concentración a largo plazo puede causar cambios patológicos similares a los del enfisema pulmonar [4].

En el caso del material particulado, su tamaño está directamente relacionado con la gravedad de su efecto. Las partículas  $PM_{10}$  influyen en la aparición de numerosas enfermedades respiratorias y agravamiento de afecciones alérgicas [4]. Sin embargo, son las partículas  $PM_{2.5}$  las que tienen un efecto más severo sobre la salud. Su menor tamaño le permite viajar profundamente en los pulmones, penetrando en el aparato respiratorio y depositándose en los alvéolos pulmonares pudiendo provocar obstrucciones [11]. Además, estas partículas están compuestas por elementos más tóxicos (metales pesados o compuestos orgánicos) que pueden ser cancerígenos. Las exposiciones duraderas a la materia particulada, se asocian a la función pulmonar reducida, desarrollo de bronquitis crónica e incluso muerte prematura, mientras que a corto plazo, pueden agravar enfermedades respiratorias y disminuir la resistencia a infecciones [6].

El dióxido de azufre produce la inflamación del sistema respiratorio, agravamiento de enfermedades respiratorias y aumenta el riesgo de contraer infecciones. Las exposiciones a altas concentraciones de  $SO_2$  a corto plazo, puede irritar las vías respiratorias, mientras que la exposición periódica a bajas concentraciones, produce un efecto irritativo continuado disminuyendo las funciones respiratorias y desarrollando enfermedades respiratorias como la bronquitis o un edema pulmonar [4].

Determinadas personas son más vulnerables frente al ozono troposférico al realizar actividades al aire libre; personas con enfermedades respiratorias e incluso sanas, realizando ejercicio físico intenso. El  $O_3$  irrita las vías aéreas de los pulmones y disminuye su función. El daño a corto plazo en los pulmones de un niño, puede derivar en una función pulmonar reducida de adulto [5].

Obviamente, aquellas personas que padecen alergias o son asmáticas sufren más los efectos de los contaminantes al aumentar la sensibilidad pulmonar, irritación de las vías aéreas y disminuir la función pulmonar.



### **1.2.2. ENFERMEDADES CARDIOVASCULARES Y CEREBROVASCULARES**

Más recientes son las evidencias de la relación con enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares. Se ha observado una asociación estadísticamente significativa entre la contaminación atmosférica y la incidencia de cardiopatía isquémica (angina e infarto de miocardio), arritmias e insuficiencia cardíaca [10].

La exposición continuada a material particulado aumenta el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares. Personas con enfermedades cardíacas como la enfermedad de la arteria coronaria o insuficiencia cardíaca congestiva tienen un riesgo mayor, ya que las partículas las agravan. Además, la exposición al contaminante a corto plazo de estas personas, se ha relacionado con ataques cardíacos y arritmias. Las partículas PM<sub>2.5</sub> pueden llegar incluso al torrente sanguíneo atacando al sistema cardiovascular y neurológico [6].

Se asocia con un mayor número de muertes prematuras por enfermedades cardiovasculares, la exposición crónica al dióxido de azufre. En los días en los que los valores de SO<sub>2</sub> son más elevados, aumentan los ingresos hospitalarios por cardiopatías [4].

De la misma forma que el ozono troposférico afecta a enfermos respiratorios, también afecta a enfermos cardiovasculares. Al realizar actividades intensas al aire libre son más vulnerables y tienen riesgo de que la enfermedad se agrave [5].

La inhalación de monóxido de carbono impide el transporte habitual de oxígeno en la sangre, lo que puede producir una disminución del suministro de oxígeno al corazón. Este hecho puede generar problemas en personas con enfermedades cerebrovasculares o cardiovasculares sufriendo infarto de miocardio o derrame cerebral ante pequeñas exposiciones. El motivo no es otro que, los principales síntomas de envenenamiento por CO se desarrollan en el sistema nervioso central y en el miocardio [6].

Existe una relación continua entre los valores de los contaminantes y los efectos para la salud, por lo que la ley establece para cada tipo de contaminante, valores límite definiendo unos valores máximos de concentración a los que podríamos estar expuestos con baja probabilidad de efectos adversos para la salud. A pesar de ello, registrándose niveles de contaminantes por debajo de los límites legales se podrían generar consecuencias sobre la salud humana.

### **1.3. PRINCIPALES ESTUDIOS SOBRE CONTAMINACIÓN Y SALUD**

La contaminación atmosférica va ligada al crecimiento demográfico y desarrollo industrial. Uno de los países que ha experimentado este fenómeno de forma masiva desde la década de los noventa es China, convirtiéndose la mala calidad del aire en un grave problema medio ambiental [12]. Diferentes estudios en países asiáticos evidencian los efectos negativos que produce la contaminación del aire en la salud. Gerard y cols. resumieron en 2013, una serie de estudios epidemiológicos que evidencian la asociación de la exposición a largo plazo a dióxido de nitrógeno, óxidos de carbono y material particulado, con morbilidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares y mortalidad [13].

Algunos estudios realizados en diferentes ciudades europeas [14, 16], muestran que los incrementos de las concentraciones de contaminantes se asocian con efectos

nocivos sobre la salud, aún a niveles de contaminación atmosférica ambiental moderados o bajos, que no superan los niveles establecidos por la normativa o están alrededor de los mismos. Concretamente, se centran en enfermedades relacionadas con el aparato respiratorio y circulatorio.

El proyecto EMECAM[14], Estudio Multicéntrico Español sobre la relación entre la Contaminación Atmosférica y la Mortalidad, realizado entre 1995 y 1999, se centró en el análisis del efecto a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad en 14 ciudades españolas (entre ellas Valencia), entre los años 1990 y 1995. Como objetivo principal, estudió el efecto a corto plazo de las partículas en suspensión, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO y O<sub>3</sub> sobre la mortalidad de los residentes de dichas ciudades. Los resultados del estudio proporcionaron una estimación global del efecto de estos contaminantes en la salud de la población urbana española. En general, éstos van en el sentido de la existencia de una asociación entre la contaminación atmosférica y la mortalidad en las ciudades incluidas en el proyecto. Sin embargo, al diferir las ciudades en clima o localización, es difícil realizar un análisis global del efecto de cada contaminante. Como ejemplo, citar Zaragoza en la que se encuentra relación entre contaminación por humos y muertes por enfermedades respiratorias mientras que en Vitoria se encuentra asociación con muertes por enfermedades cardiovasculares.

El Proyecto EMECAS [14, 15], Estudio Multicéntrico Español sobre la relación entre la Contaminación Atmosférica y la Salud fue una ampliación del anterior. Tuvo el mismo objetivo con la inclusión de la variable morbilidad hospitalaria (enfermedades respiratorias y circulatorias) en 16 ciudades españolas. Los resultados mostraron que los niveles medios de los contaminantes SO<sub>2</sub>, CO y O<sub>3</sub> eran menores que los niveles establecidos por la normativa, mientras que los niveles medios de NO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub> se encontraban cercanos a los niveles establecidos por la normativa. A grandes rasgos se observó una relación entre el SO<sub>2</sub> y la mortalidad y una asociación entre el aumento de partículas PM<sub>10</sub>, CO y O<sub>3</sub>, y el número de ingresos diarios por enfermedades cardiovasculares.

En el Proyecto APHEA "*Air Pollution on Health: a European Approach*" [16], realizado entre 1991 y 1994, se analizaron datos de 15 ciudades europeas. Entre sus objetivos se encontraba proporcionar estimaciones cuantitativas de los efectos sobre la salud humana a corto plazo mediante datos diarios de muertes e ingresos hospitalarios de emergencia a causa de la contaminación del aire. Se trató con los mismos contaminantes que los otros proyectos, pero se tuvieron en cuenta las interacciones entre los diferentes contaminantes y entre los contaminantes y otros factores ambientales. También se evaluó la viabilidad de crear una base de datos europea de mediciones de la contaminación del aire e indicadores de salud que permitiera la vigilancia continua de los efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica en el futuro. Entre los resultados destaca el efecto de la exposición a altas concentraciones y durante períodos prolongados al NO<sub>2</sub>, cuya fuente principal es el tránsito, indicando que estas partículas son especialmente perjudiciales para la salud. Los mayores efectos evidenciados en los climas cálidos y secos sugieren que probablemente se deban a la mayor permanencia en el exterior con la consiguiente influencia de los contaminantes ambientales. Con respecto a la edad, la proporción de ancianos afectada es mayor comparada con otros grupos de edad.

Además de estos estudios realizados a gran escala, encontramos otros que se centran en un área más específica y pueden aportar conclusiones relevantes en patología concretas como el asma. Entre los años 2003 y 2010, se analizó el efecto de las emisiones de contaminantes a la atmósfera sobre las visitas a urgencias por asma en las ciudades de Zaragoza y Santander [12]. En este caso los contaminantes estudiados fueron el NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y PM<sub>10</sub>. Durante el estudio se observó el diferente

comportamiento de los contaminantes. Los valores diarios de NO<sub>2</sub> siguieron un ciclo anual alcanzando los valores máximos en invierno y los mínimos en verano, siendo mayores en Zaragoza debido al mayor número de habitantes y por tanto automóviles. El O<sub>3</sub> también presentó un ciclo anual de sus valores diarios, siendo los máximos en verano y mínimos en invierno; al tratarse de un contaminante secundario que surge de la interacción de la luz solar con ciertos componentes de la atmósfera su ciclo es contrario al del NO<sub>2</sub>, que es su precursor. En cuanto material particulado inferior a 10 micras, no presentó un ciclo anual exacto como los dos contaminantes anterior, pero sí tres fases diferenciadas durante el periodo estudiado, en las que se observaron unos niveles altos. Los resultados mostraron que los valores de NO<sub>2</sub> y el O<sub>3</sub> se mantuvieron dentro del límite legal, mientras que el material particulado inferior a 10 micras sobrepasó el umbral legal durante todo el periodo estudiado en las dos ciudades. Finalmente, haciendo referencia a la relación de los contaminantes atmosféricos con el asma, se observó una relación directa entre las visitas a urgencias y el NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, dependiendo de factores como el tiempo de respuesta tras la inhalación y la especie química.

La metodología estadística seguida por todos los estudios epidemiológicos anteriores es similar. Se analiza mediante series temporales la evolución de los contaminantes durante el periodo de tiempo estudiado y si los valores sobrepasan o se mantienen por debajo de los valores límite determinados por la legislación. Por otra parte, se estudia la relación entre los niveles de contaminantes y el número de ingresos o fallecimientos por la patología estudiada mediante modelos de regresión de Poisson.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

Los estudios realizados abarcan ciudades de localizaciones geográficas diferentes. Ello puede dificultar extraer conclusiones, ya que por diferencias en parámetros como el clima o la localización geográfica, las características genéticas de la población u otros factores, los contaminantes pueden actuar de forma distinta.

Además, la mayor parte de los trabajos realizados han sido emplazados en grandes ciudades y/o áreas industriales donde la contaminación es más importante, los contaminantes superan con cierta frecuencia los límites legales y los efectos sobre la salud son más probables. Por ello, sus conclusiones pueden no ser aplicables a zonas no industriales o con menor densidad de población.

Por este motivo es pertinente la realización de un estudio local en un área con menor carga industrial y densidad de población (comarca de la Safor), en la que al menos teóricamente existiría un menor impacto de los contaminantes sobre la salud, que permita analizar estos patrones de relación entre los contaminantes ambientales y la salud y su correlación con otras zonas, al tiempo que facilite información de utilidad sobre el terreno.

Un estudio como el actual, realizado en una comarca semirural como la Safor, podría aportar nuevos hallazgos de interés sobre el efecto de los contaminantes ambientales sobre la salud en entornos menos industrializados.

## 2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

El estudio se basa en la hipótesis de que existe una relación entre la contaminación del aire y la salud, en concreto con la patología respiratoria y circulatoria (cardiovascular y cerebrovascular). Los contaminantes con mayor efecto sobre la salud son las partículas en suspensión, el SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO y O<sub>3</sub>.

### 2.1. OBJETIVO PRINCIPAL

El objetivo principal es estudiar el efecto de la contaminación atmosférica ambiental (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO y O<sub>3</sub>) sobre la morbilidad (ingresos hospitalarios urgentes) por enfermedades respiratorias y circulatorias (cardiovascular y cerebrovascular) en el periodo 2010-2014 en la comarca de la Safor.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Por otra parte, se establecen una serie de objetivos específicos entre los que se encuentran:

- Estudiar la evolución de los niveles ambientales de los contaminantes citados anteriormente entre los años 2010-2015 en la comarca de la Safor.
- Comprobar si los niveles de los contaminantes atmosféricos respetan los umbrales determinados por la legislación actual.
- Analizar la relación entre las variaciones de los niveles de contaminación y los ingresos hospitalarios por patología respiratoria.
- Analizar la relación entre las variaciones de los niveles de contaminación y los ingresos hospitalarios por patología circulatoria.

Una vez planteada la hipótesis y los objetivos del proyecto, se explicará la metodología aplicada y el material (datos) utilizado durante el estudio.

## 3. MATERIAL Y MÉTODOS

### 3.1. DISEÑO

Para llevar a cabo el proyecto, se utiliza un diseño ecológico en el que se analizan de forma retrospectiva series temporales de datos ambientales (niveles de contaminantes y datos climatológicos) y de salud (ingresos por patología respiratoria, cardiovascular y cerebrovascular) durante cinco años (de enero de 2010 a diciembre de 2014).

### 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

En un estudio estadístico se le denomina población a un conjunto de personas, objetos o medidas que presentan características comunes en una zona delimitada y un momento determinado, siendo la muestra un subconjunto de dicha población.

La población de referencia fue el conjunto de todos los ingresos hospitalarios urgentes en la comarca de la Safor en los que el diagnóstico principal fue patología respiratoria, cardiovascular o cerebrovascular. La muestra utilizada fueron todos los ingresos que cumplían estas condiciones entre enero de 2010 y diciembre de 2014.

### 3.3. VARIABLES

Según la estrategia de análisis, que quedará detallada más adelante, las variables se agrupan en dependientes e independientes.

#### 3.3.1. VARIABLES DEPENDIENTES

Las variables dependientes o variables respuesta estudiadas en el proyecto fueron el número de ingresos diarios por patologías respiratorias ( $Y_1$ ) y número de ingresos diarios por patologías circulatorias cardiovasculares y cerebrovasculares ( $Y_2$ ).

- Variables respuesta (indicadores de salud) o variables dependientes:
  - Morbilidad circulatoria cardiovascular y cerebrovascular (ING\_CIR): valores diarios de ingresos hospitalarios relacionados con enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares.
  - Morbilidad respiratoria (ING\_RES): valores diarios de ingresos hospitalarios relacionados con enfermedades respiratorias.

Las enfermedades se clasificaron por el código de la 9ª revisión de la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-9) con una precisión de 3 dígitos [17].

En la siguiente tabla quedan detalladas las variables dependientes:

Variables dependientes o respuesta
<b>Y<sub>1</sub></b> (ING_RES): nº de ingresos por patologías respiratorias CIE-9: 460-519
<b>Y<sub>2</sub></b> (ING_CIR): nº de ingresos por patologías circulatorias CIE-9: 390-459 Esta variable incluye: Enfermedades cardiacas CIE-9: 410-414 y 427-428 Enfermedades cerebrovasculares CIE-9: 430-438

**Tabla 1.** Variables dependientes. **Fuente:** Elaboración propia.

### 3.3.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

Como variables independientes o predictoras se incluyeron: variables indicadoras de valores diarios y horarios de los contaminantes (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>...), variables meteorológicas (temperaturas máximas y mínimas diarias, humedad relativa) y covariables (casos diarios de gripe).

- Variables independientes indicadoras de contaminación atmosférica:
  - Promedio anual de NO<sub>2</sub> (NO2\_A), PM<sub>10</sub>(PM10\_A), PM<sub>2.5</sub> (PM2.5\_A)
  - Promedio de 24 horas, de SO<sub>2</sub> (SO2\_24), PM<sub>10</sub> (PM10\_24)
  - Media octohoraria de CO (CO\_8) y O<sub>3</sub>(O3\_8)
  - Máximos horarios de SO<sub>2</sub> (SO2\_1), NO<sub>2</sub> (NO2\_1).
- Variables independientes atmosféricas:
  - Meteorológicas: temperatura máxima (T\_MAX), temperatura mínima (T\_MIN), humedad relativa (HR).
- Covariables independientes:
  - Casos diarios de gripe (GRIPE)

Variables independientes	
Niveles de contaminantes	Promedio anual: NO <sub>2</sub> (NO2_A), PM <sub>10</sub> (PM10_A), PM <sub>2.5</sub> (PM2.5_A)
	Promedio de 24 horas: SO <sub>2</sub> (SO2_24), PM <sub>10</sub> (PM10_24)
	Media octohoraria: CO (CO_8) y O <sub>3</sub> (O3_8)
	Máximos horarios: SO <sub>2</sub> (SO2_1), NO <sub>2</sub> (NO2_1)
Factores atmosféricos	Temperatura máxima diaria (T_MAX)
	Temperatura mínima diaria (T_MIN)
	Humedad relativa (HR)
Covariables	Incidencia diaria de gripe (GRIPE)

**Tabla 2.** Variables independientes. **Fuente:** Elaboración propia.

### **3.4. OBTENCIÓN DE LOS DATOS Y TRATAMIENTO**

Para la realización del estudio, ha sido necesario recurrir a diferentes bases de datos ambientales y clínicos.

#### **3.4.1. DATOS DE MORBILIDAD (INGRESOS HOSPITALARIOS)**

Los datos utilizados para el análisis de ingresos hospitalarios por patología respiratoria y circulatoria proceden del hospital Francesc de Borja, centro de referencia y único hospital público de la comarca de la Safor. Tras ser evaluado el protocolo inicial de estudio por la Comisión de Docencia, Investigación y Ética del Departamento de Salud de Gandía (Conselleria de Sanitat), los datos de ingresos hospitalarios se obtuvieron de los registros hospitalarios del Conjunto Mínimo Básico de Datos (CMBD) de enero de 2010 a diciembre de 2014.

La base CMDDB es una base de datos genérica que incluye todos los ingresos hospitalarios y sus diagnósticos asociados de forma homogénea para todos los hospitales y permite la realización de estudios epidemiológicos [18].

Para este proyecto solo se incluyeron los ingresos urgentes, excluyendo los ingresos programados. Se determinó la causa de ingreso por el diagnóstico principal al alta en base al código de la Clasificación Internacional de Enfermedades 9ª revisión (CIE-9) con una precisión de 3 dígitos [17].

#### **3.4.2. DATOS AMBIENTALES**

Se han analizado los datos de calidad del aire de la Estación de Control de Gandía, representante en la Comarca de la Safor y perteneciente a la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica, la cual, realiza el seguimiento de los niveles de los contaminantes atmosféricos más relevantes en las principales áreas urbanas e industriales de la comunidad. Se han estudiado los siguientes contaminantes: dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), material particulado de tamaño inferior a 10 y 2.5 micras (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), ozono troposférico (O<sub>3</sub>) y monóxido de carbono (CO). Se han empleado las mediciones diarias de los contaminantes seleccionados desde el 1 de enero de 2010 hasta el 31 de diciembre de 2014; con los datos diarios se ha calculado el promedio mensual y anual para observar la tendencia del contaminante.

Por último, los datos meteorológicos empleados provienen del banco de datos climatológicos de l'Associació Valenciana d'Aficionats a la Meteorologia 'Josep Peinado' (AVAMET). Se han escogido aquellos que puedan influir en el estudio, como son la temperatura mínima y máxima, y la humedad.

#### **3.4.3. COVARIABLES**

Los datos de incidencia diaria de gripe se obtuvieron a partir de los datos de incidencia semanal que recoge el sistema de vigilancia epidemiológica EDO de Salud Pública [19]. La incidencia diaria se estimó dividiendo entre 7 la incidencia semanal.

### **3.5. CONSIDERACIONES ÉTICAS**

Previamente a su realización el estudio fue evaluado por la Comisión de Docencia, Investigación y Ética del Departamento de Salud de Gandía.

Se ha respetado el derecho a la intimidad y protección de datos de los pacientes al consultar la base de datos hospitalarios, ya que solo se requiere la fecha del ingreso y el motivo del mismo (CIE-9) sin ningún dato personal. Se trata por tanto de datos totalmente anónimos.

### **3.6. ESTRATEGIA DE ANÁLISIS**

El análisis de los datos consta de dos partes: análisis descriptivo de los contaminantes y análisis inferencial de la relación entre los contaminantes y la morbilidad respiratoria y circulatoria.

#### **3.6.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS CONTAMINANTES**

En primer lugar, se analizaron de forma descriptiva los valores diarios de cada contaminante mediante un análisis de series temporales para determinar su evolución anual y en qué meses o estaciones alcanzaron los valores máximos y mínimos.

Para ello, una vez construidas las bases de datos, se realizó el cálculo y representación gráfica del promedio anual y mensual de los contaminantes para observar la tendencia. Existen vacíos en las bases de datos de la estación de medida de contaminación del aire que podrían alterar los resultados. Por este motivo se valorará el porcentaje de datos perdidos de cada variable.

Además, en base a la legislación vigente, se determinó si había valores que superaran el valor límite o umbral de alerta. Una vez obtenidos los resultados fue posible evaluar el estado de la contaminación del aire en la comarca de la Safor.

#### **3.6.2. RELACIÓN ENTRE CONTAMINANTES E INGRESOS**

Seguidamente, se analizaron la relación entre los valores diarios de cada contaminante y el número de ingresos diarios por patología respiratoria o cardiovascular con diferentes tipos de retardo según los diferentes contaminantes mediante modelos multivariantes de regresión de Poisson.

El procedimiento Regresión de Poisson [20], ajusta un modelo de regresión en el que la variable dependiente ( $Y_1$ ,  $Y_2$ ) se basa en conteos. Como se detalla anteriormente, las variables dependientes corresponden al número de ingresos diarios por patologías respiratorias y cardíacas.

Para ajustar el modelo de regresión relaciona ( $Y_1$ ,  $Y_2$ ) con una o más variables predictivas ( $X$ ) que en este caso son cuantitativas y corresponden a las variables independientes, que son los valores diarios de cada contaminante, de las variables meteorológicas y de la covariable.

El modelo estadístico asumido para los datos es que los valores de la variable dependiente  $Y$  siguen una distribución Poisson representada en la siguiente ecuación:



$$p(Y_i) = \frac{e^{-\lambda_i} (\lambda_i)^{Y_i}}{Y_i!} \quad (1)$$

donde  $\lambda_i$  es el parámetro de la tasa Poisson en los valores de las variables predictoras correspondientes a la  $i$ -ésima observación. Además, se supone que la tasa se relaciona con las variables predictoras a través de una función de enlace log-lineal de la forma:

$$\log(\lambda) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k \quad (2)$$

Una vez introducidos los datos y realizado el análisis, el programa muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión de Poisson para describir la relación entre las variables dependientes e independientes:

- **Modelo estimado de regresión:** estimaciones de los coeficientes del modelo de regresión, con errores estándar y Odds ratio (OR). La Odds ratio, es una medida de asociación utilizada en estudios epidemiológicos, que representa cuántas veces es más probable un evento si sucede un factor respecto de si no sucede ese factor.

En nuestro caso, considerando variables factor continuas como los contaminantes, la OR representa cuantas veces es más probable ingresar por enfermedad respiratoria (o circulatoria) si el valor de un determinado contaminante aumenta una unidad de medida ( $x_{i-1}$ ) respecto a la probabilidad de ingresar si el contaminante tiene un valor determinado ( $x_i$ ). La Odds ratio de cada factor se calcula a partir de los coeficientes del modelo  $\hat{\beta}_j$  mediante:

$$= \exp(\hat{\beta}_j) \quad (3)$$

Por ejemplo, si la OR estimada para el  $\text{NO}_2$  es de 1,05, significa que el número de ingresos aumenta un 5% cuando los niveles de  $\text{NO}_2$  aumentan una unidad, mientras que si es de 0,95, los ingresos disminuyen un 5,26% ( $1/0,95$ ) cuando los niveles de  $\text{NO}_2$  aumentan una unidad.

Si la variable factor es dicotómica en lugar de cuantitativa continua, la OR representa cuantas veces es más probable ingresar por enfermedad respiratoria (o circulatoria) si el valor del factor pasa de una categoría a la otra.

- **Análisis de descomposición:** descomposición de la desviación de los datos en un componente explicado (Modelo) y un componente no explicado (Residuo). La desviación compara la función de verosimilitud de un modelo con el valor más grande que puede alcanzar dicha función. Calcula la desviación de un modelo que contiene únicamente un término constante (Total), la desviación que queda después de haber ajustado el modelo (Residuo) y la reducción en la desviación por las variables predictoras, igual a la diferencia entre los dos componentes anteriores (Modelo).

El Valor de P para el *Modelo* prueba si el añadir las variables predictoras reduce significativamente la desviación comparada con un modelo que contiene sólo un término constante. Si el valor-P es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables, con un nivel de confianza del 95,0%.

- Porcentaje de Desviación: calcula el porcentaje de desviación explicado por el modelo y la desviación ajustada mediante las siguientes fórmulas:

$$R^2 = \frac{\delta(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k | \beta_0)}{\delta(\beta_0)} \quad (4)$$

$$R^2_{adj} = \frac{\delta(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k | \beta_0) - 2p}{\delta(\beta_0)} \quad (5)$$

donde  $p$  es igual al número de coeficientes en el modelo ajustado, incluyendo al término constante.

- Pruebas de Razón de Verosimilitud: comparan la función de verosimilitud del modelo completo con la del modelo en el cual sólo el efecto indicado ha sido removido. Valores de P pequeños indican que el modelo ha mejorado significativamente por el efecto.
- Análisis de Residuos: la tabla muestra estadísticas sobre los errores de predicción, definidos por:

$$e_i = y_i - \hat{\lambda}_i t_i \quad (6)$$

Para evitar que el modelo tenga muchos términos no significativos, es posible ajustarlo mediante dos métodos distintos: selección hacia adelante o selección hacia atrás.

La selección hacia adelante, empieza con un modelo con sólo un término constante y mete una variable significativa si entrara en el modelo actual. En cada paso, el algoritmo va añadiendo en el modelo la variable más significativa si entrara, hasta que llega el momento en que ninguna variable tiene un valor de P suficientemente pequeño y se detiene la selección.

La selección hacia atrás, empieza con un modelo con todas las variables y quita una variable significativa en el modelo actual. En cada paso, el algoritmo saca del modelo la variable menos significativa hasta que todas las variables restantes tengan valores pequeños de P.

Debido a que no todos los contaminantes se manifiestan en nuestro organismo el mismo día de su inhalación, se han analizado las variables de contaminantes ambientales con retardo 0 (valores del mismo día), 1 (un día después), 2 (dos días después) y 3 (tres días después).

### **3.7. MEMORIA ECONÓMICA**

El proyecto no tendrá ningún coste, ya que la obtención de todos los datos será gratuita, tanto los hospitalarios como los atmosféricos, que se obtendrán de la web de l'Associació Valenciana d'Aficionats a la Meteorologia 'Josep Peinado' (AVAMET) y de la web de la Conselleria d'Infraestructures, Territori i Medi Ambient (CITMA). Para el análisis de los datos se utilizará el software de análisis de datos Statgraphics Centurion XVI disponible para alumnos de la UPV de forma gratuita.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. VARIACIONES DIARIAS Y NIVELES RESPECTO A LA NORMATIVA VIGENTE

#### 4.1.1. DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO<sub>2</sub>)

La evolución diaria de la concentración de NO<sub>2</sub> a lo largo de los cinco años de estudio está representada en el Figura 1. Como se puede observar, los valores diarios de dióxido de nitrógeno siguen un ciclo anual con máximos invernales y mínimos veraniegos, coincidiendo con estudios anteriores. En los meses de marzo y abril del año 2012 no se registraron datos.

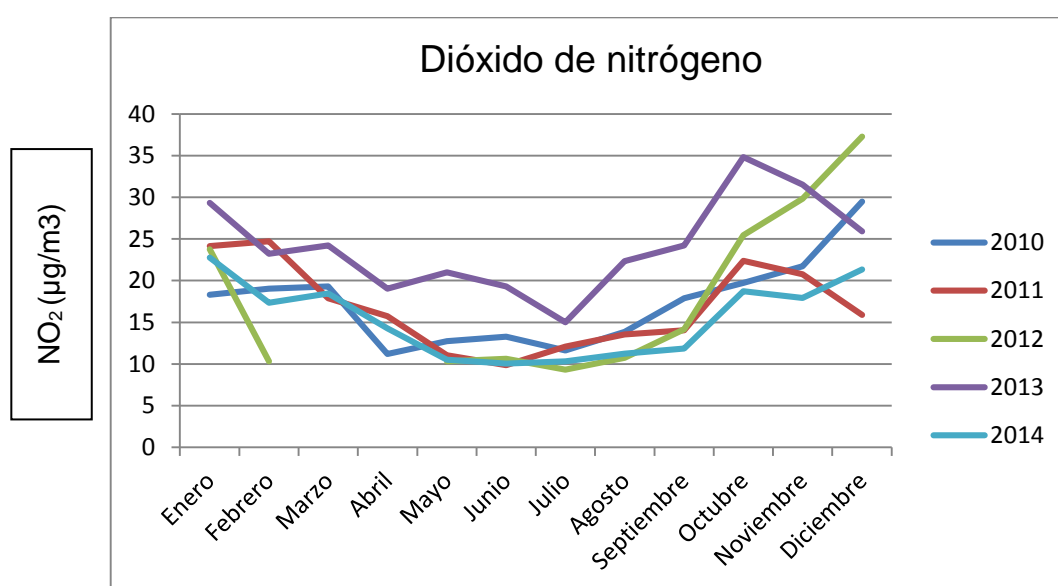


Figura 1. Serie anual del NO<sub>2</sub>. Fuente: Elaboración propia.

Año	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
2010	17,59
2011	16,93
2012	19,04
2013	25,08
2014	15,40

Tabla 3. Promedio anual de NO<sub>2</sub> (2010-2014) Fuente: Elaboración propia.

AÑO					
MES	2010	2011	2012	2013	2014
Enero	18,32	24,12	23,76	29,32	22,77
Febrero	19,03	24,71	10,33	23,21	17,34
Marzo	19,32	17,87	-	24,22	18,45
Abril	11,21	15,73	-	19,03	14,26
Mayo	12,72	11,03	10,31	21,00	10,51
Junio	13,26	9,84	10,63	19,30	10,03
Julio	11,62	12,09	9,33	15,00	10,32
Agosto	13,86	13,53	10,74	22,33	11,22
Septiembre	17,90	14,03	14,16	24,23	11,86
Octubre	19,73	22,37	25,46	34,83	18,74
Noviembre	21,73	20,76	29,82	31,50	17,93
Diciembre	29,48	15,88	37,27	25,90	21,35

**Tabla 4.** Promedio mensual de NO<sub>2</sub> (2010-2014). **Fuente:** Elaboración propia.

Los niveles de NO<sub>2</sub> se mantuvieron dentro del valor límite marcado por la legislación vigente.

La legislación estatal relativa a la calidad del aire establece que el valor límite horario del NO<sub>2</sub> para la protección de la salud es de **200 µg/m<sup>3</sup>**, el cual, no podrá superarse en más de 18 ocasiones por año civil. El valor límite anual promedio de contaminación por NO<sub>2</sub> es de **40 µg/m<sup>3</sup>**.

La máxima concentración horaria alcanzada durante los cinco años estudiados fue de 153 µg/m<sup>3</sup> en enero de 2013. La Tabla 3 muestra que la máxima concentración anual promedio fue de 25,08 µg/m<sup>3</sup> en el año 2013, por tanto, en ninguno de los dos casos se superó el límite marcado para la protección de la salud.

#### 4.1.2. DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)

Como se puede observar en el siguiente gráfico, generalmente, los valores diarios de SO<sub>2</sub> son más altos en los meses más fríos, aunque no sigue un patrón tan diferenciado como el del NO<sub>2</sub>. En los meses de marzo, abril y mayo de 2013 no se registraron datos.

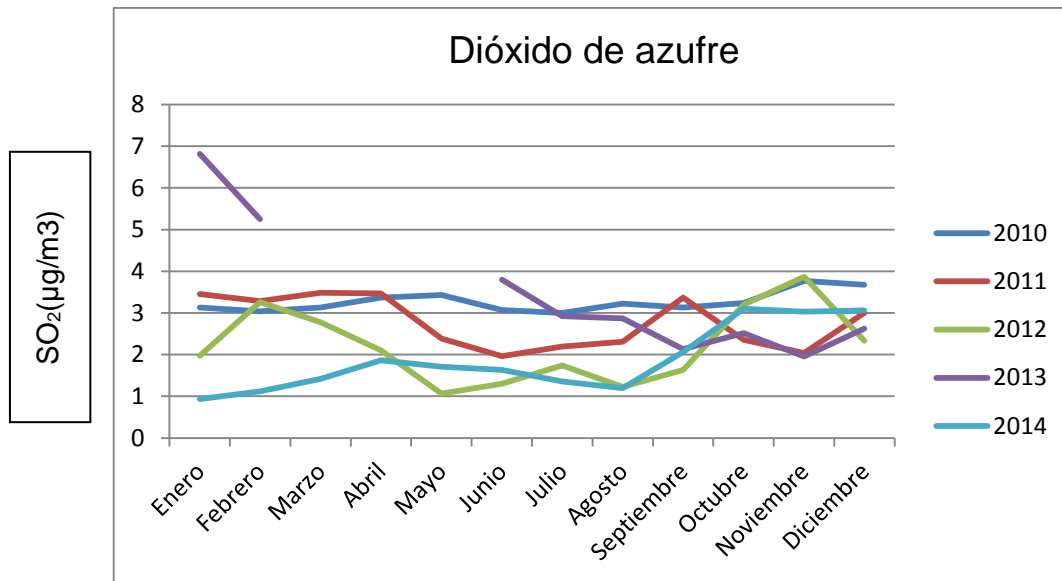


Figura 2. Serie anual del SO<sub>2</sub>. Fuente: Elaboración propia.

Año	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
2010	3,28
2011	2,79
2012	2,15
2013	3,01
2014	1,88

Tabla 5. Promedio anual de SO<sub>2</sub> (2010-2014) Fuente: Elaboración propia.

AÑO					
MES	2010	2011	2012	2013	2014
Enero	3,12	3,45	1,96	6,81	0,93
Febrero	3,03	3,28	3,26	5,25	1,11
Marzo	3,12	3,48	2,77	-	1,41
Abril	3,36	3,46	2,10	-	1,86
Mayo	3,43	2,38	1,06	-	1,70
Junio	3,06	1,96	1,30	3,80	1,63
Julio	3,00	2,19	1,74	2,92	1,35
Agosto	3,22	2,31	1,22	2,87	1,19
Septiembre	3,13	3,36	1,63	2,13	2,06
Octubre	3,24	2,35	3,20	2,51	3,09
Noviembre	3,76	2,03	3,86	1,95	3,03
Diciembre	3,67	3,00	2,33	2,62	3,06

Tabla 6. Promedio mensual de SO<sub>2</sub> (2010-2014). Fuente: Elaboración propia.

Según la normativa vigente el valor límite horario para la protección de la salud de SO<sub>2</sub> es de **350 µg/m<sup>3</sup>** y no podrá superarse en más de 24 ocasiones por año civil. El valor límite diario promedio es de **125 µg/m<sup>3</sup>**, valor que no podrá superarse en más de 3 ocasiones por año civil.

La máxima concentración horaria alcanzada durante los cinco años estudiados fue de 146  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en abril de 2013. Ese mismo día el valor promedio de 24 horas fue de 17,41  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , por tanto, en ningún caso se superó el valor límite horario y diario.

#### 4.1.3. MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

Generalmente, los valores diarios más altos de monóxido de carbono se encuentran en los meses más fríos del año. La Figura 3 muestra que la concentración de CO en el año 2012 aumentó notablemente en el mes de marzo. En agosto del mismo año y marzo de 2013 no se registraron datos.

El valor límite diario de monóxido de carbono para la protección de la salud, el cual, corresponde a las medias móviles octohorarias, no debe sobrepasar los 10  $\text{mg}/\text{m}^3$  según la legislación actual.

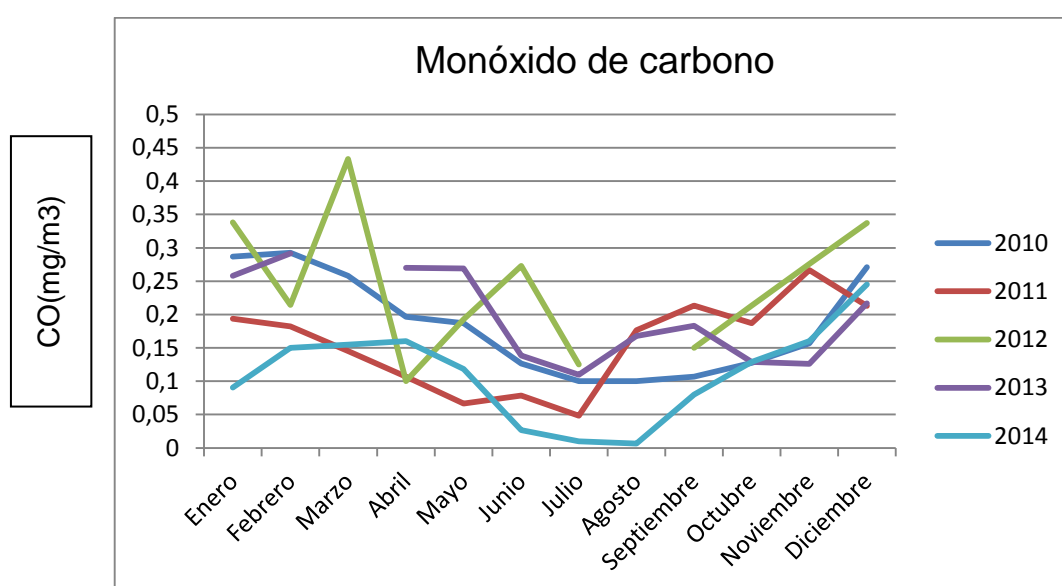


Figura 3. Serie anual del CO. Fuente: Elaboración propia.

Año	CO (mg/m3)
2010	0,20
2011	0,16
2012	0,25
2013	0,00
2014	0,11

Tabla 7. Promedio anual de CO (2010-2014) Fuente: Elaboración propia.

AÑO					
MES	2010	2011	2012	2013	2014
Enero	0,28	0,19	0,33	0,25	0,09
Febrero	0,29	0,18	0,21	0,29	0,15
Marzo	0,25	0,14	0,43	-	0,15
Abril	0,19	0,10	0,10	0,27	0,16
Mayo	0,18	0,06	0,19	0,26	0,11
Junio	0,12	0,07	0,27	0,13	0,02
Julio	0,10	0,04	0,12	0,10	0,01
Agosto	0,10	0,17	-	0,16	0,01
Septiembre	0,10	0,21	0,15	0,18	0,08
Octubre	0,12	0,18	0,21	0,12	0,12
Noviembre	0,15	0,26	0,27	0,12	0,16
Diciembre	0,27	0,21	0,33	0,21	0,24

**Tabla 8.** Promedio mensual de CO (2010-2014). **Fuente:** Elaboración propia.

Los valores diarios de CO a lo largo del periodo de estudio varían entre 0,1 y 0,6  $\text{mg}/\text{m}^3$ , siendo 0,8 en diciembre de 2011, el mayor valor diario registrado. Por tanto, dicho valor se encuentra muy alejado del límite.

#### 4.1.4. OZONO ( $\text{O}_3$ )

Durante el periodo de estudio la concentración de los valores diarios de ozono describe un ciclo anual opuesto al del dióxido de nitrógeno, es decir, con máximos entre la primavera y el verano y mínimos en invierno, hecho que coincide con otros estudios. En este caso, los niveles de concentración siendo mayores o menores, siguen una tendencia similar durante todos los años estudiados (Figura 4).

En base a la legislación vigente, al calcular las medias octohorarias estableciendo como límite de concentración  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y teniendo en cuenta que no debe superarse más de 25 días por cada año civil de promedio en un periodo de tres años, observamos que el  $\text{O}_3$  no supera el valor límite establecido, ya que el máximo valor diario es de  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en abril de 2013.



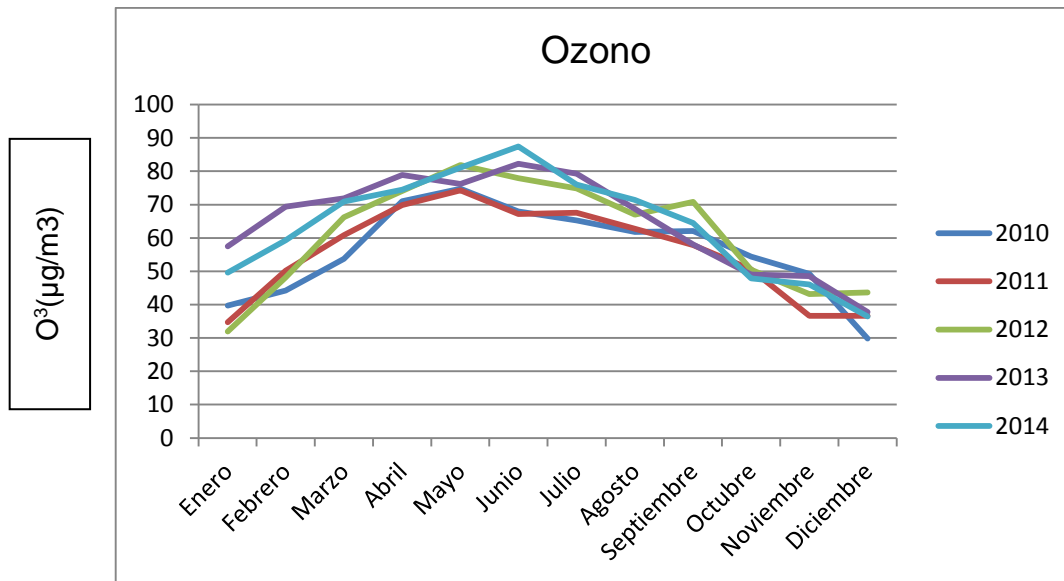


Figura 4. Serie anual del O<sub>3</sub>. Fuente: Elaboración propia.

Año	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
2010	56,03
2011	55,59
2012	60,87
2013	64,63
2014	63,79

Tabla 9. Promedio anual de O<sub>3</sub> (2010-2014) Fuente: Elaboración propia.

MES	AÑO				
	2010	2011	2012	2013	2014
Enero	39,67	34,74	31,96	57,48	49,58
Febrero	44,17	50,17	48,17	69,40	59,28
Marzo	53,70	60,81	66,22	71,90	70,93
Abril	71,03	69,90	74,10	78,86	74,50
Mayo	74,77	74,32	81,90	76,19	81,12
Junio	67,92	67,17	77,96	82,26	87,46
Julio	65,23	67,51	74,90	79,22	76,03
Agosto	61,83	62,74	66,96	68,74	71,38
Septiembre	62,06	57,86	70,86	58,03	64,50
Octubre	54,41	50,54	50,50	49,06	47,87
Noviembre	49,23	36,66	43,16	48,53	46,06
Diciembre	29,85	36,61	43,67	37,80	36,45

Tabla 10. Promedio mensual de O<sub>3</sub> (2010-2014). Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.5. MATERIAL PARTICULADO DE DIÁMETRO INFERIOR A 10 MICRAS (PM<sub>10</sub>)

La evolución de la concentración diaria de material particulado de diámetro inferior a 10 micras durante los 5 años de estudio está representada en la Figura 5. El contaminante presenta los valores diarios más altos durante los meses de primavera y verano, especialmente en 2012, en los meses de verano (de junio a agosto) el contaminante sufre un aumento notable. Generalmente, en el mes de marzo también se produce un incremento de PM<sub>10</sub> (2010, 2012 y 2013). De enero a marzo de 2014 no se registraron datos.

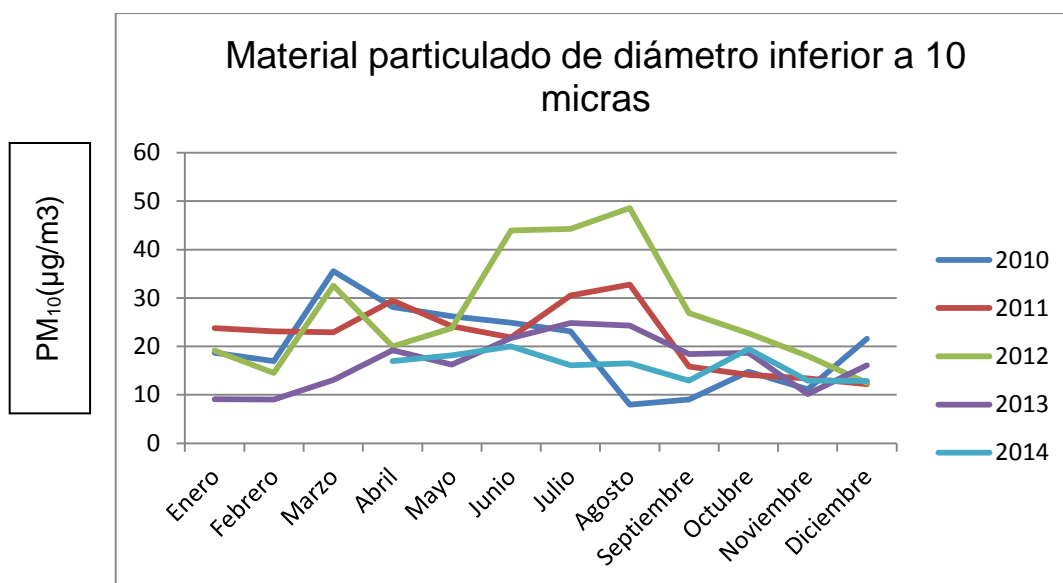


Figura 5. Serie anual del PM<sub>10</sub>. Fuente: Elaboración propia.

Año	PM10 (µg/m <sup>3</sup> )
2010	20,88
2011	22,06
2012	27,57
2013	16,68
2014	17,41

Tabla 11. Promedio anual de PM<sub>10</sub> (2010-2014) Fuente: Elaboración propia.

AÑO					
MES	2010	2011	2012	2013	2014
Enero	18,70	23,77	19,12	9,09	-
Febrero	16,96	23,10	14,53	9,00	-
Marzo	35,58	22,90	32,56	13,09	-
Abril	28,16	29,46	20,03	19,20	17,00
Mayo	26,25	24,16	23,80	16,22	18,16
Junio	24,93	21,85	43,93	21,72	20,00
Julio	23,14	30,51	44,26	24,86	16,10
Agosto	8,00	32,77	48,54	24,32	16,50
Septiembre	9,03	15,85	26,90	18,40	12,92
Octubre	14,81	14,12	22,73	18,67	19,50
Noviembre	11,16	13,36	18,00	10,16	12,92
Diciembre	21,59	12,22	12,45	16,12	12,85

**Tabla 12.** Promedio mensual de PM<sub>10</sub> (2010-2014). **Fuente:** Elaboración propia.

La normativa establece un valor límite anual promedio para PM<sub>10</sub> de **40 µg/m<sup>3</sup>** y un valor límite diario de **50 µg/m<sup>3</sup>**, que no podrá superarse en más de 35 ocasiones por año.

En el año 2012 se superó en 28 ocasiones el valor límite diario, aun así, manteniéndose por debajo de las 35 ocasiones que la ley establece. Como se muestra en la Tabla 11, ese mismo año, el valor límite anual promedio fue de 27,57 µg/m<sup>3</sup>. En ninguno de los dos casos se superó el valor límite marcado por la legislación, sin embargo, el valor límite diario está cercano al límite establecido.

#### **4.1.6. MATERIAL PARTICULADO DE DIÁMETRO INFERIOR A 2.5 MICRAS (PM<sub>2.5</sub>)**

Durante el año 2014 no se registraron valores de PM<sub>2.5</sub> por lo que el periodo de estudio para realizar el seguimiento del contaminante será entre 2010 y 2013. Los valores diarios de PM<sub>2.5</sub> no siguen un ciclo diferenciado (Figura 6), sin embargo, en los meses de verano de 2012 (de junio a agosto) se produce un incremento del contaminante.

Generalmente en el mes de marzo (2010,2012 y 2013) también hay un incremento del contaminante.

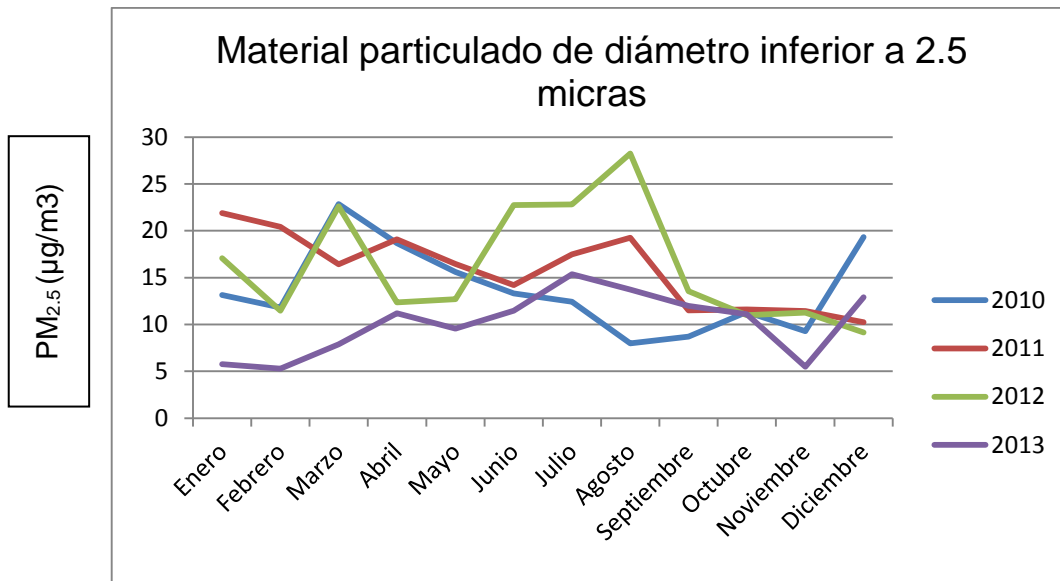


Figura 6. Serie anual del PM<sub>2.5</sub>. Fuente: Elaboración propia.

Año	PM 2.5 (µg/m3)
2010	14,30
2011	15,85
2012	16,19
2013	10,14
2014	-

Tabla 13. Promedio anual de PM<sub>2.5</sub> (2010-2014) Fuente: Elaboración propia.

MES	AÑO				
	2010	2011	2012	2013	2014
Enero	13,12	21,90	17,06	5,77	-
Febrero	11,82	20,42	11,46	5,30	-
Marzo	22,83	16,41	22,62	7,87	-
Abril	18,66	19,10	12,36	11,20	-
Mayo	15,61	16,45	12,70	9,54	-
Junio	13,30	14,21	22,73	11,48	-
Julio	12,42	17,48	22,80	15,36	-
Agosto	8,00	19,25	28,25	13,70	-
Septiembre	8,70	11,50	13,56	12,00	-
Octubre	11,33	11,61	11,00	11,10	-
Noviembre	9,30	11,43	11,26	5,50	-
Diciembre	19,33	10,22	9,16	12,90	-

Tabla 14. Promedio mensual de PM<sub>2.5</sub> (2010-2014). Fuente: Elaboración propia.

La legislación vigente establece un valor límite anual promedio de concentración de PM<sub>2.5</sub> de **25 µg/m<sup>3</sup>** para la protección de la salud.

La Tabla 13 muestra que el promedio anual de concentración de PM<sub>2.5</sub> más elevado durante el periodo de estudio fue en el año 2012 (16,19 µg/m<sup>3</sup>), siendo inferior al valor límite anual marcado por la legislación.

## 4.2. MODELO DE ANÁLISIS TEMPORAL MEDIANTE REGRESIÓN DE POISSON

A continuación, se muestran los resultados más relevantes obtenidos mediante modelos de regresión de Poisson para analizar la relación entre los contaminantes y los ingresos hospitalarios urgentes por patologías respiratorias y circulatorias (cardiovasculares y cerebrovasculares).

Además de la variables dependientes (ingresos) y las variables independientes de interés (valores ambientales de los contaminantes) se han introducido como variables de confusión los valores atmosféricos de T<sup>a</sup> máxima y mínima, la humedad relativa y la tasa de incidencia diaria de gripe.

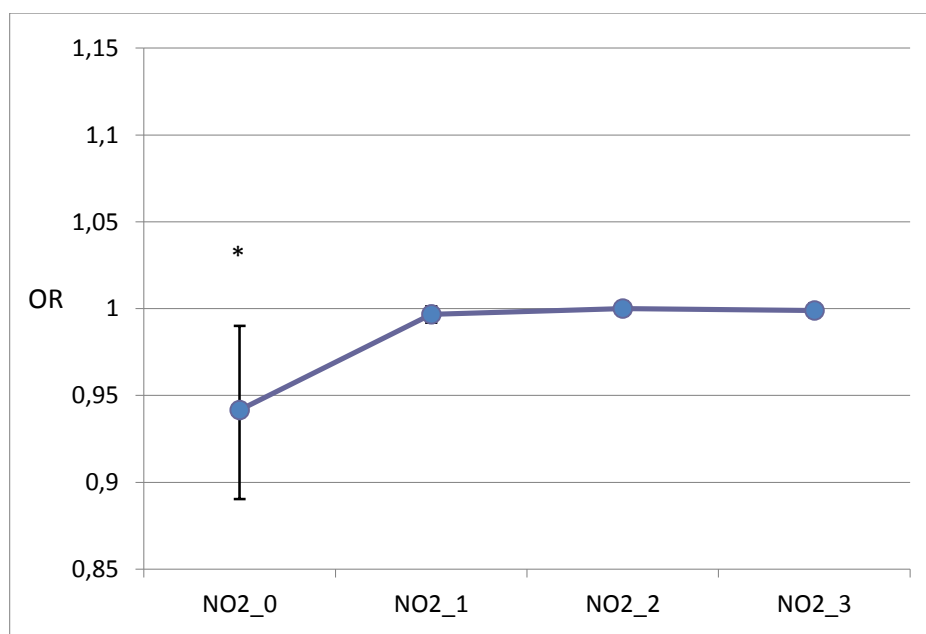
Para todos los contaminantes se ha analizado el efecto de los valores ambientales del mismo día y los valores con un retardo de 1, 2 y 3 días.

Todos los análisis se han realizado con Statgraphics Centurion XVI. Los resultados se muestran en tablas que sintetizan el efecto mediante la odds ratio (OR) con su intervalo de confianza del 95% y el *valor-P* o *nivel de significación*.

### 4.2.1. RELACIÓN ENTRE LOS CONTAMINANTES Y MORBILIDAD RESPIRATORIA

#### 4.2.1.1. DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO<sub>2</sub>)

Los resultados indican (Tabla 15) que un aumento de 1 µg/m<sup>3</sup> en la concentración de NO<sub>2</sub> está asociado a una disminución de un 6,4% (OR=1/0,94) de los ingresos por patología respiratoria el mismo día de la exposición al contaminante.



**Figura 7.** Resultados de Regresión de Poisson para NO<sub>2</sub> y patologías respiratorias. Los puntos muestran el valor de las OR para el mismo día del ingreso (NO2\_0) y retardos de 1, 2 y 3 días. Las barras verticales muestran los límites del intervalo de confianza del 95% de la OR. El asterisco indica el valor-P. **Fuente:** Elaboración propia.

Parámetro	Valor-P	OR	Límite inferior	Límite superior
NO2_0	0,0258	0,941544	0,89295	0,99279
NO2_1	0,1569	0,996643	0,99199	1,00131
NO2_2	0,9708	1,000070	0,99615	1,00401
NO2_3	0,6162	0,998997	0,99508	1,00293

**Tabla 15.** Resultados de Regresión de Poisson para NO<sub>2</sub> y patologías respiratorias. **Fuente:** Elaboración propia.

El efecto del dióxido de nitrógeno al día siguiente, dos y tres días después no es estadísticamente significativo debido a que el *valor-P* es superior a 0,05.

#### 4.2.1.2. DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)

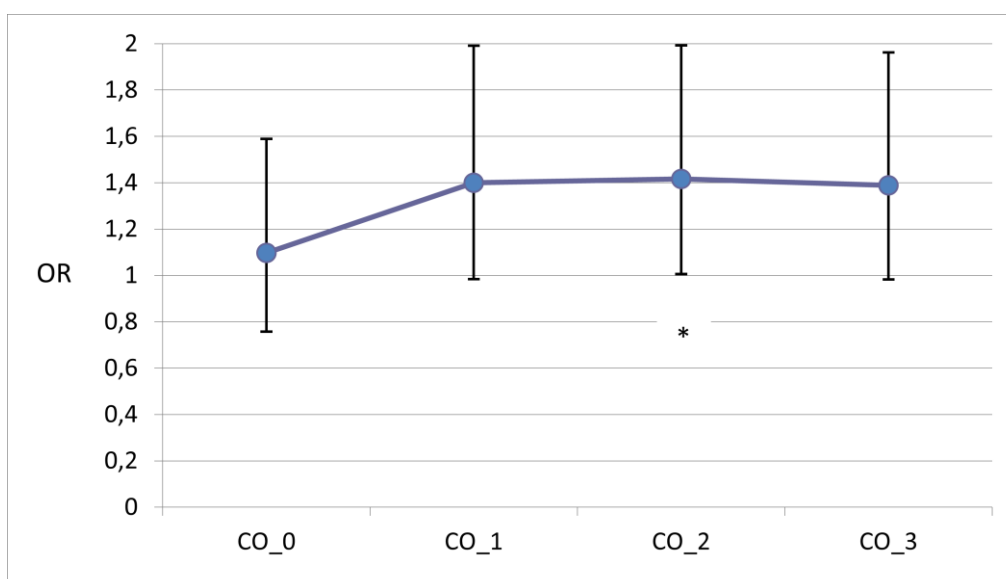
La siguiente tabla (Tabla 16) muestra que no existe un efecto estadísticamente significativo de la concentración de SO<sub>2</sub> en los ingresos por patologías respiratorias (*valor P*>0,05).

Parámetro	Valor-P	OR	Límite inferior	Límite superior
SO2_0	0,1363	1,01735	0,994621	1,0406
SO2_1	0,5006	0,99220	0,969838	1,0151
SO2_2	0,2905	0,98766	0,965143	1,0107
SO2_3	0,4689	0,99140	0,968477	1,0149

**Tabla 16.** Resultados de Regresión de Poisson para SO<sub>2</sub> y patologías respiratorias. **Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.2.1.3. MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

La exposición a monóxido de carbono se asocia a un incremento de los ingresos por patología respiratoria que es máxima a los 2 días de la exposición, alcanzando la significación estadística el segundo día (*P*=0,0467) y manteniéndose en niveles cercanos a la significación el día siguiente a la exposición (*P*=0,0623) y 3 días después (*P*=0,0636).



**Figura 8.** Resultados de Regresión de Poisson para CO y patologías respiratorias. Los puntos muestran el valor de las OR para el mismo día del ingreso (CO\_0) y retardos de 1, 2 y 3 días. Las barras verticales muestran los límites del intervalo de confianza del 95% de la OR. El asterisco indica el valor-P. **Fuente:** Elaboración propia.

Viendo los resultados de la Tabla 17, observamos que un aumento de 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la concentración de monóxido de carbono está asociado a un incremento de ingresos aproximadamente de un 40% (OR=1,42) dos días después de la exposición.

Parámetro	Valor-P	OR	Límite inferior	Límite superior
CO_0	0,6227	1,09755	0,757771	1,58968
CO_1	0,0623	1,39982	0,984274	1,99081
CO_2	0,0467	1,41602	1,006461	1,99225
CO_3	0,0636	1,38891	0,982825	1,96275

**Tabla 17.** Resultados de Regresión de Poisson para CO y patologías respiratorias. **Fuente:** Elaboración propia.

El resto de días el efecto del CO no es estadísticamente significativo, sin embargo, al día siguiente y tres días después de la exposición el *valor-P* es muy cercano a 0,05.

#### 4.2.1.4. OZONO (O<sub>3</sub>)

La Tabla 18 muestra que no existe un efecto estadísticamente significativo de la concentración de O<sub>3</sub> en los ingresos por patologías respiratorias (*valor P*>0,05). Sin embargo, al día siguiente de la exposición, el *Valor-P* es muy aproximado a 0,05.

Parámetro	Valor-P	OR	Límite inferior	Límite superior
O3_0	0,7598	0,999525	0,996485	1,00257
O3_1	0,0697	0,997791	0,995409	1,00018
O3_2	0,2302	0,998689	0,996551	1,00083
O3_3	0,8585	0,999793	0,997523	1,00207

**Tabla 18.** Resultados de Regresión de Poisson para O<sub>3</sub> y patologías respiratorias. **Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.2.1.5. MATERIAL PARTICULADO DE DIÁMETRO INFERIOR A 10 MICRAS (PM<sub>10</sub>)

El efecto del PM<sub>10</sub> sobre morbilidad respiratoria (Tabla 19) no es estadísticamente significativo en ningún caso (*valor P*>0,05).

Parámetro	Valor-P	OR	Límite inferior	Límite superior
PM10_0	0,9279	1,00023	0,995185	1,00531
PM10_1	0,5820	0,99913	0,996004	1,00227
PM10_2	0,3183	1,00131	0,998786	1,00385
PM10_3	0,4069	1,00109	0,998555	1,00363

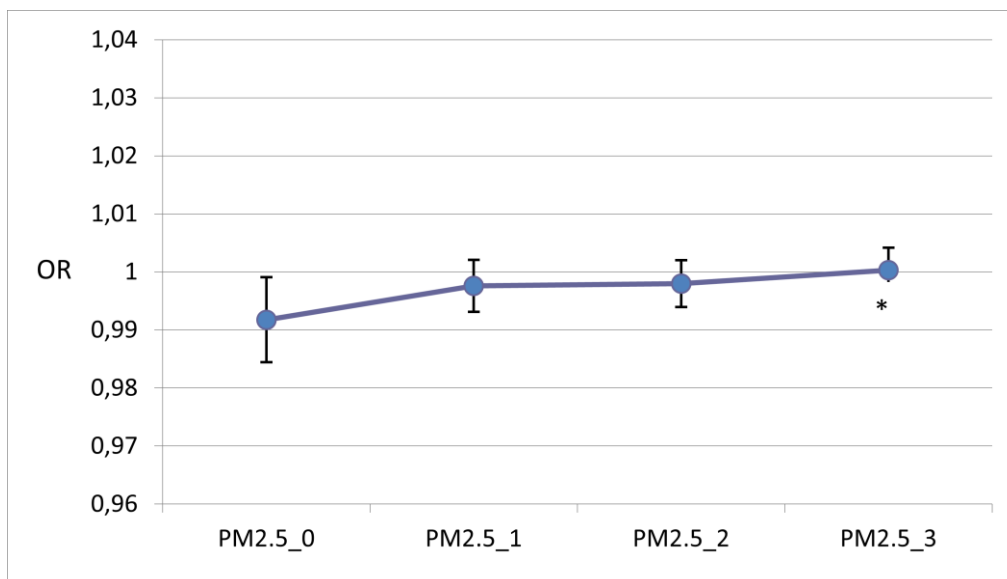
**Tabla 19.** Resultados de Regresión de Poisson para PM<sub>10</sub> y patologías respiratorias. **Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.2.1.6. MATERIAL PARTICULADO DE DIÁMETRO INFERIOR A 2.5 MICRAS (PM<sub>2.5</sub>)

La exposición a PM<sub>2.5</sub> se asocia a un incremento de los ingresos por patología respiratoria a los 3 días de la exposición, alcanzando la significación estadística (P=0,0387).

Los resultados de la Tabla 20 exponen que tres días después de la exposición a material particulado de diámetro inferior a 2.5 micras, el aumento de 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en su concentración está asociado a un aumento de 0,4% de los ingresos por patologías

respiratorias. no siendo estadísticamente significativo el efecto el resto de los días días.



**Figura 9.** Resultados de Regresión de Poisson para PM<sub>2.5</sub> y patologías respiratorias. Los puntos muestran el valor de las OR para el mismo día del ingreso (PM2.5\_0) y retardos de 1, 2 y 3 días. Las barras verticales muestran los límites del intervalo de confianza del 95% de la OR. El asterisco indica el valor-P. **Fuente:** Elaboración propia.

Parámetro	Valor-P	OR	Límite inferior	Límite superior
PM2.5_0	0,7641	1,00121	0,993326	1,00915
PM2.5_1	0,2237	1,00277	0,998319	1,00723
PM2.5_2	0,1092	1,00015	0,999311	1,00708
PM2.5_3	<b>0,0387</b>	1,00401	1,00024	1,00779

**Tabla 20.** Resultados de Regresión de Poisson para PM<sub>2.5</sub> y patologías respiratorias. **Fuente:** Elaboración propia.

Los otros días, el efecto no es estadísticamente significativo (*valor P*>0,05).

#### 4.2.2. RELACIÓN ENTRE LOS CONTAMINANTES Y MORBILIDAD CARDIACA

##### 4.2.2.1. DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO<sub>2</sub>)

Los resultados indican (Tabla 21) que el efecto del NO<sub>2</sub> no está asociado de forma significativa con los ingresos por patologías cardiacas (*valor P*>0,05).

Parámetro	Valor-P	OR	Límite inferior	Límite superior
NO2_0	0,4153	0,978946	0,930069	1,03039
NO2_1	0,7200	0,999157	0,994555	1,00378
NO2_2	0,4994	0,998643	0,994711	1,00259
NO2_3	0,3439	0,998111	0,994204	1,00203

**Tabla 21.** Resultados de Regresión de Poisson para NO<sub>2</sub> y patologías cardiacas. **Fuente:** Elaboración propia.



#### 4.2.2.2. DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)

La siguiente tabla (Tabla 22) muestra que, al igual que para los ingresos por patologías respiratorias, no existe un efecto estadísticamente significativo de la concentración de SO<sub>2</sub> en los ingresos por patologías cardíacas (*valor P*>0,05).

Parámetro	Valor-P	OR	Límite inferior	Límite superior
SO2_0	0,8649	1,00189	0,980311	1,02395
SO2_1	0,1513	1,01599	0,994257	1,03820
SO2_2	0,9492	1,00071	0,978975	1,02294
SO2_3	0,3286	0,98891	0,966973	1,01132

Tabla 22. Resultados de Regresión de Poisson para SO<sub>2</sub> y patologías cardíacas. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.2.3. MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

El efecto del monóxido de carbono sobre morbilidad cardíaca (Tabla 23) no es estadísticamente significativo (*valor P*>0,05).

Parámetro	Valor-P	OR	Límite inferior	Límite superior
CO_0	0,4504	0,867289	0,598978	1,25579
CO_1	0,9316	1,015700	0,711726	1,4495
CO_2	0,4227	0,868053	0,613872	1,22748
CO_3	0,4024	1,159340	0,820666	1,63777

Tabla 23. Resultados de Regresión de Poisson para CO y patologías cardíacas. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.2.4. OZONO (O<sub>3</sub>)

La Tabla 24 muestra que no existe un efecto estadísticamente significativo de la concentración de O<sub>3</sub> en los ingresos por patologías cardíacas (*valor P*>0,05).

Parámetro	Valor-P	OR	Límite inferior	Límite superior
O3_0	0,5957	0,999191	0,996205	1,00219
O3_1	0,5728	0,999311	0,996919	1,00171
O3_2	0,5344	0,999287	0,997039	1,00154
O3_3	0,0848	0,998000	0,995729	1,00028

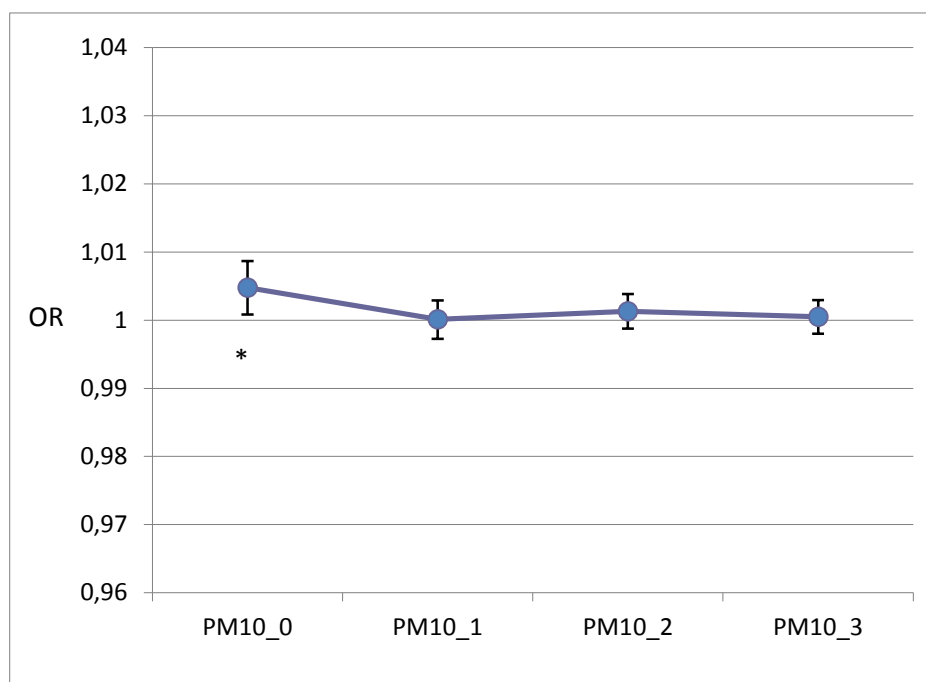
Tabla 24. Resultados de Regresión de Poisson para O<sub>3</sub> y patologías cardíacas. Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, tres días después de la exposición, el *Valor-P* es muy aproximado a 0,05

#### 4.2.2.5. MATERIAL PARTICULADO DE DIÁMETRO INFERIOR A 10 MICRAS (PM<sub>10</sub>)

El día de la exposición el efecto del PM<sub>10</sub> sobre los ingresos por patologías cardíacas es significativo (Tabla 25). El aumento de 1 µg/m<sup>3</sup> se asocia a un incremento de aproximadamente un 0,5% de los ingresos.

Los días posteriores a la exposición (hasta tres días después de la exposición), el efecto del PM<sub>10</sub> sobre la morbilidad cardíaca no es estadísticamente significativo (*valor P*>0,05).



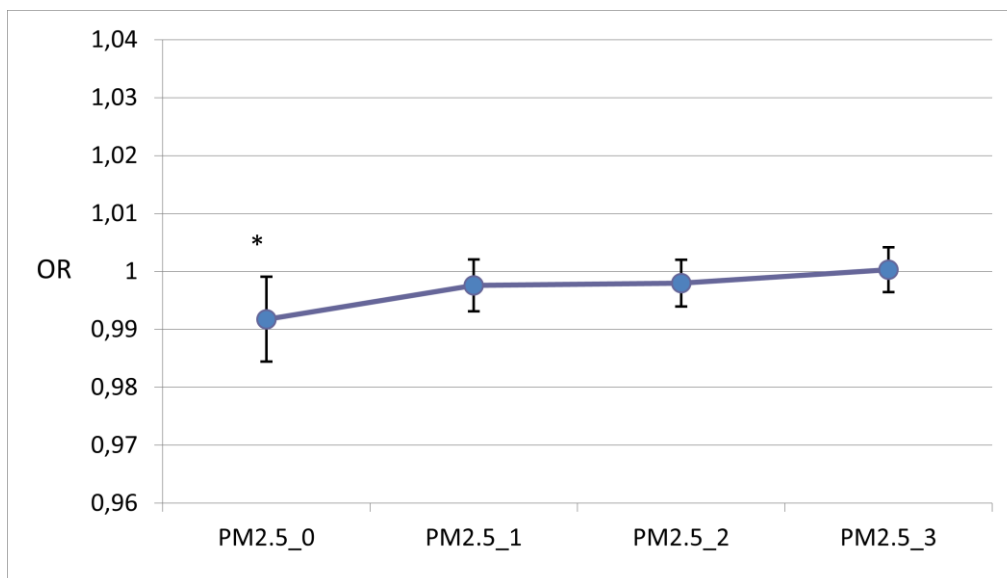
**Figura 10.** Resultados de Regresión de Poisson para PM<sub>10</sub> y patologías cardíacas. Los puntos muestran el valor de las OR para el mismo día del ingreso (PM10\_0) y retardos de 1, 2 y 3 días. Las barras verticales muestran los límites del intervalo de confianza del 95% de la OR. El asterisco indica el valor-*P*. **Fuente:** Elaboración propia.

Parámetro	Valor-P	OR	Límite inferior	Límite superior
PM10_0	0,0259	1,00475	1,00084	1,00868
PM10_1	0,9420	1,00010	0,997287	1,00293
PM10_2	0,3183	1,00131	0,998786	1,00385
PM10_3	0,7030	1,00048	0,998025	1,00295

**Tabla 25.** Resultados de Regresión de Poisson para PM<sub>10</sub> y patologías cardíacas. **Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.2.2.6. MATERIAL PARTICULADO DE DIÁMETRO INFERIOR A 2.5 MICRAS (PM<sub>2.5</sub>)

La exposición a PM<sub>2.5</sub> tiene en el estudio un efecto significativo sobre los ingresos por patologías cardíacas, observándose una reducción el mismo día de la exposición (Tabla 26).



**Figura 11.** Resultados de Regresión de Poisson para PM<sub>2.5</sub> y patologías cardíacas. Los puntos muestran el valor de las OR para el mismo día del ingreso (PM2.5\_0) y retardos de 1, 2 y 3 días. Las barras verticales muestran los límites del intervalo de confianza del 95% de la OR. El asterisco indica el valor-P. **Fuente:** Elaboración propia.

Parámetro	Valor-P	OR	Límite inferior	Límite superior
PM2.5_0	0,0292	0,99173	0,984442	0,99907
PM2.5_1	0,2889	0,99758	0,993126	1,00206
PM2.5_2	0,3203	0,99796	0,993924	1,00201
PM2.5_3	0,8787	1,00030	0,996418	1,00420

**Tabla 26.** Resultados de Regresión de Poisson para PM<sub>2.5</sub> y patologías cardíacas. **Fuente:** Elaboración propia.

En base a los resultados obtenidos, un aumento de 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM<sub>2.5</sub> se asocia a con la disminución de un 1% de los ingresos, siendo el efecto el resto de los días no significativo estadísticamente (*valor P* > 0,05).

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS CONTAMINANTES

#### 5.1.1. NIVELES DE LOS CONTAMINANTES RESPECTO A LA NORMATIVA VIGENTE

En el presente estudio, se ha contemplado el cumplimiento de los valores límite fijados en la legislación vigente a nivel europeo (Directiva 2008/50/CE) y estatal (Real Decreto 102/2011).

Las concentraciones de dióxido de nitrógeno no superaron el valor límite horario (18 ocasiones) ni el valor límite anual establecido, el cual, se mantiene en un nivel moderado a lo largo del periodo de estudio.

En cuanto al dióxido de azufre, los valores de concentración registrados se encuentran alejados del límite horario (24 ocasiones) y diario (3 ocasiones) establecidos, haciendo inexistente el riesgo de superar los límites.

En relación al monóxido de carbono las concentraciones registradas se encuentran muy alejadas del valor límite diario establecido, siendo improbable que pueda alcanzarse el valor límite.

Las concentraciones de material particulado de diámetro inferior a 10 micras no superan el valor límite anual promedio ni el valor límite diario (35 ocasiones) establecidos. Sin embargo, en el año 2012 el valor límite diario se superó en 28 ocasiones encontrándose cercano al límite. En cuanto al material particulado de diámetro inferior a 2.5 micras, los valores de concentración registrados no superan el valor límite anual promedio, manteniendo unos niveles moderados.

Con el objetivo de aminorar la repercusión que supone la contaminación del aire sobre la salud, en el año 2005, la OMS creó unas "Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre"[4], en las que reduce los valores límites establecidos por la legislación. A continuación, se muestran los valores asignados por la organización para cada contaminante:

- La OMS rebajó el valor límite diario promedio del ozono de protección para la salud, de 120 a **100 µg/m<sup>3</sup>**.
- La normativa estatal establece un valor medio anual para PM10 de 40 µg/m<sup>3</sup>, sin embargo, las Directrices sobre Calidad del Aire elaboradas por la OMS en establecen un valor medio anual de **20 µg/m<sup>3</sup>**, reduciéndolo casi a la tercera parte.
- Para PM<sub>2.5</sub>, el límite anual promedio es de 25 µg/m<sup>3</sup> y la Organización Mundial de la Salud propone una media anual de **10 µg/m<sup>3</sup>**.
- La OMS marca como valor límite diario de SO<sub>2</sub> que no debería sobrepasarse, **20 µg/m<sup>3</sup>** frente a los 125 establecidos por la normativa estatal.
- Respecto al NO<sub>2</sub> mantiene los valores establecidos por la legislación vigente.

Basándonos en los valores establecidos por la OMS, en general, la concentración de los contaminantes superaría los límites o mantendría unos niveles muy cercanos a los mismos.

Los resultados observados en este trabajo en la relación de los niveles ambientales de contaminantes y los ingresos hospitalarios urgentes de causa respiratoria y circulatoria irían en la línea de acercar los límites legales a los valores recomendados por la OMS [4].

### 5.1.2. VARIACIONES ESTACIONARIAS DE LOS CONTAMINANTES

Al realizar el seguimiento de los contaminantes a lo largo del periodo de estudio, se observaron ciertas tendencias o picos notables de crecimiento en algunos de ellos.

Coincidiendo con otros estudios, tanto los valores diarios del ozono como los del dióxido de nitrógeno siguen un ciclo anual, pero de forma opuesta. El NO<sub>2</sub> presenta máximos invernales y mínimos veraniegos, mientras que el O<sub>3</sub> presenta máximos entre la primavera y el verano y mínimos en invierno. Este hecho puede deberse a que el ozono surge de la interacción de algunos contaminantes en presencia de luz solar, siendo el dióxido de nitrógeno su principal precursor. Debido a la duración más larga del día, de primavera a verano la cantidad de luz solar recibida aumenta, lo que favorece la formación del ozono.

En el periodo de estudio, el dióxido de azufre y el monóxido de carbono muestran valores más altos en los meses más fríos. Independientemente del tipo de área que se considere, siempre suele ser así. Evidentemente, en aquellas estaciones que se sitúen cerca del foco de emisión el efecto será más notable.

En el mes de marzo de 2012 se observa un aumento de monóxido de carbono y material particulado (también en 2010).

Una de las causas puede ser la celebración de las Fallas. Durante la semana de Fallas, los niveles de contaminación se disparan. Se producen valores máximos de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> posiblemente debido a la quema de material pirotécnico y especialmente de decenas de monumentos falleros, que pueden contribuir al aumento de su concentración.

Otra de las causas que probablemente aumenta el nivel de material particulado de diámetro inferior a 2.5 micras es la quema de deshechos agrícolas. Al comenzar la primavera (marzo), se realiza la poda de los árboles. En el caso de la comarca de la Safor, cuyo cultivo principal es la naranja, la quema de los restos de poda de los naranjos podría suponer un aumento de la concentración del contaminante.

Cabe destacar, que en el periodo de junio a agosto de 2012 el material particulado sufre un incremento en su concentración.

La Comunidad Valenciana fue la región más afectada por los incendios en el año 2012, concretamente, en la provincia de Valencia se produjeron cinco incendios durante la época estival. Uno de los más graves fue el ocurrido en el municipio de Cortes de Pallás, situado a unos 120 km de Gandía, que afectó a 28.879 hectáreas. Este importante incremento observado de material particulado podría tener su origen en estos incendios, ya que una de las fuentes naturales de este contaminante son los incendios forestales.

## 5.2. RELACIÓN ENTRE CONTAMINANTES E INGRESOS

Al realizar los modelos de regresión de Poisson, los resultados mostraron tras un ajuste de los mismos, la existencia de una relación estadísticamente significativa entre algunos contaminantes y una de las dos patologías.

Seguidamente, se expondrán aquellos contaminantes que sí presentaron una asociación estadísticamente significativa con morbilidad respiratoria o cardiaca, ya sea de forma positiva o negativa.

### 5.2.1. MORBILIDAD RESPIRATORIA

#### 5.2.1.1. DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO<sub>2</sub>)

En los resultados se observó que un aumento de 1 µg/m<sup>3</sup> en la concentración de NO<sub>2</sub> está asociado a una disminución de en torno a un 6,4 % de los ingresos por patología respiratoria el mismo día de la exposición.

Según la bibliografía consultada [12], existe un retardo en los efectos causados tras la exposición en la respuesta fisiopatológica desencadenada por el dióxido de nitrógeno. Es decir, los mayores efectos sobre la función pulmonar se aprecian a los dos o tres días de estar expuesto al contaminante. En el presente estudio los niveles de dióxido de nitrógeno dejan de asociarse a una disminución de los ingresos a medida que pasan los días, pasando a tener un efecto neutro, pero no se sabe si con un retardo mayor los aumentaría como han observado otros estudios [12].

Existen otros factores ambientales de riesgo para enfermedades respiratorias, como por ejemplo la temperatura o el polen. Según los resultados del estudio, para el mismo día de la exposición al dióxido de nitrógeno, la temperatura mínima tiene un efecto reductor de los ingresos urgentes respiratorios estadísticamente significativo (OR=0,98; P=0,0113) de forma que cuando los valores son menos extremos se reducen los ingresos; para un aumento de la temperatura mínima de un grado se produce una disminución de un 2% de los ingresos por patologías respiratorias. Generalmente al descender la temperatura, las enfermedades respiratorias aumentan, por tanto, la relación sería acorde a los resultados.

El polen, el cual no ha podido ser incluido en el estudio por carecer de registros fiables en la comarca, se ve afectado por las variables meteorológicas. Así durante el periodo de polinización, la concentración de polen aumenta con la subida de temperatura y disminuye con el frío. Este factor ambiental es muy influyente en personas que padecen asma o algún tipo de alergia, por lo que podría haber influido en los resultados observados.

De forma opuesta al dióxido de nitrógeno, los resultados mostraron que el aumento de 1 µg/m<sup>3</sup> en la concentración de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) está asociado a un aumento de aproximadamente un 5,7 % de los ingresos por patología respiratoria el mismo día de la exposición (OR=1,0567; P=0,0405). Los óxidos de nitrógeno corresponden a un grupo de compuestos químicos gaseosos que combinan oxígeno y nitrógeno, siendo los más importantes el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno. Por tanto, puede ser que el efecto del conjunto de contaminantes sea más notorio.

### 5.2.1.2. MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

En referencia a la concentración de monóxido de carbono, los niveles ambientales elevados se asociaron a un incremento de los ingresos por patología respiratoria de importante magnitud, alcanzando la significación estadística el segundo día de la exposición (aumento del 40 % de los ingresos) y manteniéndose en niveles cercanos a la significación el día siguiente a la exposición y tres días después.

Aunque los efectos del monóxido de carbono están tradicionalmente más vinculados a patologías cardiovasculares o cerebrovasculares, no resulta inusual que se produzca un aumento considerable de los ingresos por patologías respiratorias, puesto que muchos pacientes crónicos cardíacos (insuficiencia cardíaca crónica, cardiopatía isquémica crónica...) tienen una susceptibilidad aumentada a las infecciones respiratorias [21], por lo que en muchos casos se producen cuadros mixtos. También es conocido que los enfermos con patologías respiratorias crónicas (EPOC, asma crónico...) acaban desarrollando cuadros de *cor pulmonale* con miocardiopatía dilatada e insuficiencia cardíaca congestiva [22-23].

También es conocido que tras pequeñas exposiciones al contaminante, uno de los efectos que podría producir el CO es fatiga respiratoria o disnea. Es posible que aquellas personas que padezcan enfermedades respiratorias puedan empeorar al desencadenarse este síntoma [6].

### 5.2.1.3. MATERIAL PARTICULADO DE DIÁMETRO INFERIOR A 2.5 MICRAS (PM<sub>2.5</sub>)

La exposición a PM<sub>2.5</sub> se asoció a un incremento de un 0,4% de los ingresos por patología respiratoria máxima a los tres días de la exposición por cada incremento de 1 µg/m<sup>3</sup> en sus niveles, alcanzando la significación estadística.

Estudios recientes muestran que las partículas de diámetro inferior a 2.5 micras tiene efectos más graves sobre el sistema respiratorio que las partículas de diámetro inferior a 10 micras. El PM<sub>2.5</sub> tiene acceso a las vías respiratorias baja, depositándose en ellas haciendo su expulsión más complicada. Además, este contaminante es capaz de producir citotoxicidad celular en las células epiteliales respiratorias, las cuales desempeñan un papel importante evitando la colonización del pulmón por agentes infecciosos [12]. De esta forma disminuiría la capacidad del sistema respiratorio ante infecciones volviéndolo más vulnerable.

Por tanto, los resultados obtenidos son coherentes a los publicados en estudios previos [24] que también muestran que los efectos de PM<sub>2.5</sub> se manifiestan días después de la exposición al contaminante.

## 5.2.2. MORBILIDAD CARDIACA

### 5.2.2.1. MATERIAL PARTICULADO: PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>

Observando los resultados se contempló que al día siguiente de la exposición, el efecto del PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> sobre los ingresos por patologías cardíacas era significativo. El primero produciendo un incremento de aproximadamente un 0,5% de los mismos, mientras que el segundo, se asoció a con la disminución de un 1% de los ingresos.

Estudios recientes han observado asociaciones entre el material particulado y enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares. Se contempló la asociación positiva de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>, con la enfermedad de arteria coronaria por debajo de los valores límites anuales establecidos en la legislación europea en referencia a la calidad del aire. Además, varios estudios han examinado la posible relación con la aterosclerosis subclínica, patología subyacente de la mayoría de eventos coronarios. Exposiciones a material particulado a largo plazo, fueron vinculadas al aumento de incidencia de insuficiencia cardíaca y accidentes cerebrovasculares. [25]

Los resultados obtenidos se corresponden con otros estudios en cuanto al retardo de la aparición de síntomas en el organismo tras la exposición. [14, 24]. Sin embargo, en lugar de producir un incremento de los ingresos, las partículas de diámetro inferior a 2.5 micras disminuyen los ingresos por patologías cardíacas. Este efecto es incoherente, ya que debido a su menor tamaño, el PM<sub>2.5</sub> debería provocar mayor riesgo en el organismo de sufrir alguna de estas patologías, por lo que no podemos descartar algún sesgo que altere los resultados, como la ausencia de datos en el periodo completo de 2014.

### 5.3. LIMITACIONES

Es importante considerar que el estudio presenta una serie de limitaciones.

- *Disponibilidad de estaciones de calidad de aire en la comarca*

La Estación de Control de Calidad del Aire de Gandía es la única de la comarca de la Safor y el en trabajo se han tomado sus mediciones como representativas de la comarca. Sin embargo la presencia de un polígono industrial o una instalación química en un punto alejado de la estación de control en el mismo municipio podría alterar la calidad del aire de esa zona siendo más altos en ese punto los niveles de algunos contaminantes. Además, el área geográfica de la Safor comprende diferentes municipios, algunos de los cuales están alejados de Gandía. La calidad del aire de todos los municipios de la comarca no va a ser la misma, por tanto, los resultados obtenidos pueden no tener en cuenta aspectos locales como el impacto de industrias ubicadas en localizaciones más alejadas de la estación de Gandía.

Para obtener unos resultados más precisos, se podrían realizar medidas en diferentes puntos de la comarca mediante estaciones móviles de calidad del aire y relacionarlas con el municipio de residencia o de trabajo de los pacientes ingresados. Ello permitiría hacer un análisis más amplio y exacto sobre la calidad del aire de la comarca de la Safor y su impacto potencial sobre la salud.

- *Valores no registrados en las mediciones ambientales*

Existen periodos en los que por algún motivo, hay días en los que los valores de los contaminantes no quedaron registrados, por lo que esas lagunas podrían afectar a los resultados del estudio. La siguiente tabla (Tabla x), muestra el porcentaje de datos perdidos; los cinco años del periodo de estudio (1826 días) representan el 100% de los datos.

CONTAMINANTES	Porcentaje de datos perdidos
SO <sub>2</sub>	20%
CO	30%
NO <sub>2</sub>	11%



PM <sub>10</sub>	20%
O <sub>3</sub>	2,5%
PM <sub>2,5</sub>	26%

**Tabla 27.** Porcentaje de datos perdidos de los contaminantes. **Fuente:** Elaboración propia.

Como se puede observar, el porcentaje de datos no registrados de contaminantes como el SO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> equivale a la pérdida de datos de todo un año o incluso más, hecho que supone un vacío importante de datos en el estudio. Los periodos sin mediciones se han distribuido aleatoriamente a lo largo de los 5 años, salvo las mediciones de PM<sub>2.5</sub> que no se registraron en todo 2014. El hecho de analizar las mediciones de un quinquenio ha permitido compensar estos periodos sin mediciones y proporcionar tendencias válidas de todos los meses del año.

- *Población flotante y características de la población*

La procedencia del paciente o el motivo del ingreso también pueden suponer limitaciones para el estudio.

A lo largo del año, la población del municipio de Gandía va variando en cuanto a número, distribución etaria y procedencia en función de los periodos vacacionales. En los meses de verano tradicionalmente se produce en Gandía y en gran parte de la Safor un incremento de población vacacional, que corresponde predominantemente a población activa. Sin embargo en los periodos pre y postfestivos existe un incremento de población flotante de mayor edad (viajes organizados por Imsero y otras instituciones), que podría suponer un aumento en los ingresos registrados durante estos meses, debido a que las personas de edad más avanzadas sufren más dolencias.

Los ingresos registrados durante el periodo de estudio no solo son de residentes de la comarca de la Safor, por tanto sus exposiciones a contaminantes pueden ser diferentes. Sin embargo, dado que el estudio se centra en el efecto de los contaminantes sobre la salud a corto plazo (mismo día y retardos de 1, 2 y 3 días), es adecuado no diferenciar entre residentes permanentes y población flotante.

- *Asignación del motivo del ingreso*

En el estudio solo se han tenido en cuenta los ingresos urgentes, eliminándose de la base CMBD los ingresos programados que podrían sesgar los resultados. A la hora de asignar el motivo del ingreso se ha utilizado el diagnóstico principal al alta en base a la codificación CIE-9. Esta codificación permite que los resultados sean generalizables y comparables a otros estudios realizados en cualquier parte del mundo.

La elección del diagnóstico principal al alta permite que cada ingreso esté definido por el motivo principal que lo generó, independientemente de que el paciente tenga otras comorbilidades. El paciente ingresa por un motivo en el hospital, sin embargo, el motivo de ingreso que quedará registrado finalmente será el del día en que reciba el alta. Tiene el teórico inconveniente de que puede ser que algunos pacientes hayan ingresado por patologías respiratorias o cardíacas, pero que durante el ingreso, puedan haber ocurrido otros hechos que cambien el motivo por el que han ingresado. Esto podría suponer que algunos ingresos del estudio no hayan sido verdaderamente por causas respiratorias o cardíacas o que se hayan perdido algunos datos de ingresos porque el motivo final haya sido otro. Sin embargo, es poco probable que esto ocurra en un número significativo de casos, por lo que este es el proceder de la práctica totalidad de los estudios realizados sobre el tema.

- *Software estadístico*

El programa Statgraphics es el licenciado por la UPV y el que se ha utilizado en el análisis estadístico de este trabajo. El paquete tiene un módulo de modelos lineales generalizados (GLM) potente y el manejo de la regresión con modelos de Poisson es intuitivo y consistente.

El software de Statgraphics permite introducir las variables de una forma sencilla, crea automáticamente las variables *dummy* (ficticias) en el caso de variables independientes cualitativas, y calcula automáticamente el modelo de regresión. Esto puede suponer un ahorro de tiempo y un margen de error menor en la obtención de resultados del estudio que otros programas sin interface gráfico.

En los estudios consultados el software utilizado es variable (SAS, R, Stata...). Es posible que los algoritmos implementados puedan ser algo diferentes o que el manejo de las variables no sea el mismo que el empleado en éste trabajo. Sin embargo, es poco probable que afecte significativamente a los resultados obtenidos que son robustos y razonablemente coherentes con la bibliografía consultada.

## 6. CONCLUSIONES

Por una parte, se ha analizado si los niveles de los contaminantes se mantienen por debajo de los valores límite establecidos por el Real Decreto 102/2011 y cuál ha sido su evolución a lo largo del periodo estudiado (2010-2014). Por otra parte, se ha analizado la posible existencia de una relación entre los contaminantes atmosféricos y los ingresos urgentes de patologías respiratorias o circulatorias (cardiovasculares y cerebrovasculares). Una vez realizado el estudio, se exponen aquellas conclusiones que resumen los resultados más importantes:

- Las concentraciones de los contaminantes ambientales estudiados ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$  y  $O_3$ ) se mantuvieron durante el periodo de 2010-2014 por debajo de los límites legales establecidos por el Real Decreto 102/2011, aunque cercanos y en algunos casos superiores a los valores recomendados por la OMS para la protección de la salud.
- El dióxido de nitrógeno siguió un ciclo anual con máximos invernales y mínimos veraniegos, comportamiento opuesto al del ozono que presentó máximos entre la primavera y el verano y mínimos en invierno.
- Tanto el dióxido de azufre como el monóxido de carbono mostraron valores más altos en los meses más fríos.
- Se observó un incremento de la concentración de material particulado ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ), al final del invierno, coincidiendo con los periodos de quema de restos de podas agrícolas, y en algunos eventos extraordinarios, como en el periodo de junio a agosto de 2012, atribuido al incendio de Cortes de Pallás.
- Los ingresos urgentes por patologías respiratorias se incrementaron de forma importante y significativa con los niveles elevados de monóxido de carbono dos días después de la exposición y en menor medida con los niveles elevados de  $PM_{2.5}$  tres días después de la exposición. También se observó una relación inversa paradójica con los niveles de dióxido de nitrógeno el mismo día de la exposición.
- Los ingresos urgentes por patologías circulatorias se incrementaron significativamente con los niveles elevados de  $PM_{10}$  el mismo día de la exposición. Se ha observado también una relación inversa con los niveles de  $PM_{2.5}$  el mismo día de la exposición, aunque esta asociación podría estar sesgada por la ausencia de datos en el año 2014.
- Como conclusión final, en una comarca sin extensas zonas industriales ni grandes urbes como la Safor en la que los valores de los contaminantes se mantienen por debajo de los límites legales, se ha observado una relación estadísticamente significativa entre los niveles de  $CO$ ,  $NO_x$  y  $PM_{2.5}$  y la morbilidad respiratoria y entre los niveles de  $PM_{10}$  y la morbilidad cardiovascular y cerebrovascular.

## 7. REFERENCIAS

- [1] Contaminación Atmosférica y su control. (Curso 2012/2013). "TEMA 1. INTRODUCCIÓN A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA".
- [2] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2014). "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN ESPAÑA 2013".
- [3] Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural. (2013). "PLAN NACIONAL DE CALIDAD DEL AIRE Y PROTECCIÓN DE LA ATMÓSFERA 2013-2016 (Plan AIRE)".
- [4] Ecologistas en Acción de la Región Murciana. (2012). "CALIDAD DEL AIRE EN LA REGIÓN DE MURCIA 2012".
- [5] AIRNOW. <<http://www.airnow.gov/>> [Consulta: 31 de julio de 2015].
- [6] CONSEJERIA DE SANIDAD REGIÓN DE MURCIA. <<http://www.murciasalud.es/>> [Consulta\_ 31 de julio de 2015].
- [7] España. Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera. BOE, 16 de noviembre de 2007, núm. 275, p. 46962-46987.
- [8] España. Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de calidad del aire. BOE, 29 de enero de 2011, núm. 25. Sec. 1, p. 9574-9626.
- [9] Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio ambiente. (2013). "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA COMUNIDAD VALENCIANA, ZONA ES1011: BÉTICA-SERPIS (A.COSTERA) AÑO 2013".
- [10] ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). <[www.who.int/es/](http://www.who.int/es/)> [Consulta: 31 de julio de 2015].
- [11] MONTAÑO M. y SANDOVAL A.L. (2007). "Contaminación atmosférica y salud" en *Elementos*, núm. 65, vol. 14, p. 29-33.
- [12] SANTURTÚN A., GONZÁLEZ J.C. y ZARRABEITIA M.T. (2014). "Análisis comparativo de la contaminación atmosférica y las visitas a urgencias por asma" en *Seguridad y Medio ambiente*, núm. 133, p.6-17.
- [13] HOEK G. y KRISHNAN R.M. (2013). "Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review". en *Environmental Health*, p. 43.
- [14] Grupo EMECAS (2005). "El proyecto EMECAS: Protocolo del Estudio Multicéntrico en España de los efectos a corto plazo de la Contaminación Atmosférica sobre la Salud" en *Rev Esp Salud Pública*, vol. 79, issue 2, p. 229-242.
- [15] Grupo EMECAS. "Proceso de análisis de datos en un estudio multicéntrico sobre contaminación atmosférica y salud. Proyecto EMECAS".
- [16] KATSOUYANNI, J. y SCHWARTZ, J. (1996). "Short term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiologic time series data: the APHEA protocol" en *Journal of Epidemiology and Community Health*, 50, Suppl 1, S12-S18.

- [17] Ministerio de Sanidad, Política Social e Igualdad. (2011). "MANUAL DE CODIFICACIÓN CIE 9 MC".
- [18] Conjunto Mínimo Básico de Datos (CMBD).
- [19] LEAL A., PEÑUELAS J.A., MANRIQUE R.R., DIESTRO A. y PASTOR M.C. *Evaluación del sistema de vigilancia de enfermedades de declaración obligatoria (EDO)*. Aten Primaria 1998; 22(2):85-91.
- [20] PEREZ C. (2002). "Modelos para datos de recuentos: Regresión de Poisson" en Perez C. *Estadística práctica con STATGRAPHICS*. Prentice Hall. p. 471-480.
- [21] NAGARAJAN V., TANG WH. (2012). "Management of comorbid conditions in heart failure: a review" en *Med Clin North Am*. 96(5):975-85
- [22-23] QUON BS, GAN WQ, SIN DD. (2008). "Contemporary management of acute exacerbations of COPD: a systematic review and metaanalysis." *Chest*. 2008;133(3):756-66. doi: 10.1378/chest.07-1207.
- [24] SV SHAH A., KEN K. y A MCALLISTER D.(2015). "Short term exposure to air pollution and stroke: systematic review and meta-analysis" en *The BMJ*, 2015;350: h1295. doi: 10.1136/bmj.h1295.
- [25] E. DAVID, M. PIER y S. GRETHE. (2014). "Expert position paper on air pollution and cardiovascular disease" en *European Heart Journal*, doi: 10.1093/ehu458