

## EFFECTOS A CORTO PLAZO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE LA MORTALIDAD. RESULTADOS DEL PROYECTO EMECAM EN LA CIUDAD DE VIGO, 1996-94 \*

Margarita Taracido Trunk (1), Adolfo Figueiras (1) e Isabel Castro Lareo (2).

(1) Área de Medicina Preventiva y Salud Pública. Facultad de Medicina. Universidad de Santiago.

(2) Complejo hospitalario «Arquitecto Marcide-Novoa Santos». Ferrol

(\*) Este trabajo cuenta con una beca del Fondo de Investigaciones Sanitarias (Expediente núm 97/0051-04).

### RESUMEN

**Fundamentos:** En la Comunidad Autónoma Gallega no se ha realizado ningún estudio sobre las repercusiones de la contaminación atmosférica en la salud, a pesar de que hay varias ciudades grandes, con niveles de contaminación moderados. Por ello, nos hemos planteado la necesidad de realizar este estudio en la ciudad de Vigo. El objetivo principal de este trabajo es analizar el impacto a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad diaria por todas las causas en la ciudad de Vigo durante los años 1991 a 1994, utilizando el protocolo de análisis del proyecto EMECAM.

**Método:** Se relacionan las variaciones diarias del número de muertes por todas las causas, excepto las externas, con las variaciones diarias de dióxido de azufre y partículas, por medio de modelos de regresión de Poisson. Se utiliza también un modelo no paramétrico para ver si controla mejor las variables de confusión.

**Resultados:** Con el modelo de regresión de Poisson no se observan relaciones significativas entre los contaminantes y la mortalidad. En el modelo no paramétrico se observa relación entre la concentración de partículas del día anterior a la fecha de defunción y la mortalidad, efecto que se mantiene al incluir los términos autorregresivos.

**Conclusiones:** La contaminación atmosférica por partículas representa un riesgo para la salud, a pesar de que los niveles medios de este contaminante en la ciudad de Vigo están dentro de los niveles guía de calidad del aire.

**Palabras clave:** Proyecto EMECAM. Mortalidad. Contaminación atmosférica. Regresión de Poisson. Modelos Aditivos Generalizados.

### ABSTRACT

#### The Short-term Impact of Air Pollution on the Mortality. Results of the EMECAM Project in the city of Vigo, 1991-94

**Background:** In the Autonomous Region of Galicia, no study has been made of the impacts of air pollution on human health, despite the fact that several of its major cities have moderate levels of pollution. Therefore, we have considered the need of making this study in the city of Vigo. The main objective of this analysis is that of analyzing the short-term impact of air pollution on the daily death rate for all reasons in the city of Vigo throughout the 1991-1994 period, by using the procedure for analysis set out as part of the EMECAM Project.

**Method:** The daily fluctuations in the number of deaths for all causes with the exception of the external ones are listed with the daily fluctuations of sulfur dioxide and particles using Poisson regression models. A non-parametric model is also used in order to better control the confusion variables.

**Results:** Using the Poisson regression model, no significant relationships have been found to exist between the pollutants and the death rate. In the non-parametric model, a relationship was found between the concentration of particles on the day immediately prior to the date of death and the death rate, an effect which remains unchanged on including the autoregressive terms.

**Conclusions:** Particle-based air pollution is a health risk despite the average levels of this pollutant falling within the air quality guideline levels in the city of Vigo.

**Key words:** EMECAM Project. Air pollution. Poisson regression. Generalized Additive Models.

### INTRODUCCIÓN

En la Comunidad Autónoma Gallega no existe ningún estudio sobre los efectos de la contaminación atmosférica en la salud, a pesar de que hay varias ciudades grandes, con niveles de contaminación moderados. El municipio de Vigo es uno de los más extensos y con más población de Galicia (274.

Correspondencia:  
Margarita Taracido Trunk.  
Departamento de Medicina Preventiva.  
Facultad de Medicina.  
C/ San Francisco s/n.  
15705 Santiago.  
Telf. 981 581237

574 habitantes según el censo de 1991). Está situado en la zona meridional de la costa atlántica gallega. Esta localización hace que presente una variedad meridional del clima oceánico marítimo, con inviernos suaves y veranos cálidos, así como abundantes precipitaciones. Por su emplazamiento, la ciudad de Vigo presenta numerosas pendientes lo que unido a la gran densidad de tráfico, hace que sea la ciudad de Galicia con mayor contaminación atmosférica. Por ello, nos hemos planteado la necesidad de estudiar el efecto de la contaminación sobre la salud de esta población.

El objetivo principal de este estudio es analizar el impacto a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad diaria por todas las causas, excepto las externas, en la ciudad de Vigo durante los años 1991 a 1994, para lo que hemos aplicado la metodología de análisis estandarizada del proyecto EMECAM<sup>1,2</sup>. Como objetivo secundario se plantea la comparación de dos abordajes estadísticos de control de las variables de estacionalidad y de confusión (uno paramétrico y otro no paramétrico).

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Diseño y ámbito de estudio

Se realizó un estudio ecológico de agregaciones temporales, en el que la unidad de estudio fue el día. El estudio se desarrolló siguiendo el protocolo de análisis estandarizado del proyecto EMECAM<sup>2</sup>. El período estudiado comprende desde el 1 de enero de 1991 al 31 de diciembre de 1994. El ámbito geográfico fue el municipio de Vigo.

### Fuentes de Datos

Los datos de las muertes diarias ocurridas entre los residentes en la ciudad de Vigo se obtuvieron del Registro de Mortalidad de la Dirección Xeral de Saúde Pública de la Xunta de Galicia. Se analizó el número de muertes diarias de los años 1991 a 1994 por

todas las causas excepto las externas (CIE-9, 001-799).

Los datos de contaminación los facilitó la Dirección Xeral de Saúde Pública de la Consellería de Sanidade de la Xunta de Galicia. Se estudiaron los valores medios de 24 horas de partículas en suspensión (humos negros) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Hay siete estaciones de medida manuales de estos contaminantes y una estación automática, distribuidas por toda la ciudad. Siguiendo los criterios del proyecto EMECAM, se excluyó la estación captadora automática por tener un porcentaje de valores ausentes superior al 25% para todo el período de estudio.

Los datos meteorológicos los suministró el Instituto Nacional de Meteorología y proceden de la estación meteorológica de Vigo, situada en el Aeropuerto de Peinador, a 15 Km de la ciudad. Las dos variables estudiadas fueron la temperatura media y la humedad relativa del aire. Para valorar las diferencias de medida entre los valores del aeropuerto y los de la ciudad se compararon los datos de temperatura y humedad de la estación automática de la ciudad en el año 1996 con los del aeropuerto de ese mismo año, ya que es el primer año que la estación automática tiene datos completos.

El número de casos semanales de gripe los proporcionó el Servicio de Epidemiología de la Consellería de Sanidade de la Xunta de Galicia.

### Análisis estadístico

El análisis se realizó tomando el día como unidad. Se aplicaron dos tipos de modelos: (1) uno paramétrico, siguiendo el protocolo EMECAM<sup>1,2</sup>, en el que los diferentes factores de confusión se introducen en los modelos de forma paramétrica; y (2) un modelo no paramétrico —modelo aditivo generalizado (GAM)— que permite incluir las variables de confusión cuantitativas en el modelo mediante funciones suavizadas (smooth).

Para seleccionar los grados de libertad (gl) en el modelo no paramétrico se utilizó el *Akaike Information Criterion* (AIC)<sup>3</sup>, que predice el posible error de estimación. En la comparación de dos modelos, se preferirá el que tiene menor AIC. Además, el AIC elimina la posible influencia que tienen los datos ausentes al comparar dos modelos, ya que ajusta por el número de unidades de análisis (días).

En el modelo no paramétrico, para controlar la estacionalidad se usaron funciones suavizadas de la variable tendencia<sup>4</sup>. Inicialmente, a la función suavizada se le especificaron tantos gl como meses de los que consta el período estudiado<sup>5</sup> y, posteriormente, se fueron reduciendo hasta minimizar el AIC.

Las variables climatológicas (temperatura y humedad) se incorporaron al modelo comenzando con 8 grados de libertad y disminuyéndolos hasta minimizar el AIC. Este proceso se repitió para cada una de las dos variables meteorológicas y en cada uno de sus 7 retardos. Cuando varios retardos de la misma variable se mantenían en el modelo, se representaban gráficamente sus curvas y, si tenían curvas similares, se agrupaban mediante una media móvil.

Posteriormente, se incluyeron en los modelos las variables: día de la semana, festivos y días inusuales, consideradas como variables categóricas. Para la variable gripe se valoró hasta el 15 retardo y se probaron dis-

tintas funciones suavizadas desde 8 gl hasta 3, así como la función paramétrica lineal. Cuando varios retardos mejoraron el modelo con funciones similares, se elaboró una media móvil de todos ellos. Si alguna variable no disminuía el AIC se eliminaba del modelo.

El efecto de cada contaminante se evaluó de forma paramétrica asumiendo una función lineal en cada uno de los retardos (hasta el 5). Considerar una función lineal permite, por un lado, proporcionar una medida de efecto (RR) que resume de forma global el incremento de riesgo de morir ante incrementos de contaminante (en este caso por incrementos de 10  $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ ) y, por otro, facilita la comparación con otros estudios, ya que es la forma en que tradicionalmente se expresan los resultados en estudios de contaminación. Para decidir qué retardos de contaminantes se incluían en los modelos finales, se ajustaron modelos con cada retardo de cada contaminante. Los retardos que disminuían el AIC se incluyeron en un modelo final.

## RESULTADOS

En la tabla 1 se observan los datos de mortalidad, contaminantes, temperatura y humedad, para todo el período de estudio, así como sus variaciones estacionales. El número medio de muertes diarias fue de 5, con un rango de 0 a 15. La estación del año en que se produjeron más muertes fue el invierno. Los

Tabla 1

Muertes diarias, contaminantes ( $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ ), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), humedad (%) y casos de gripe en la ciudad de Vigo (1991-1994)

	Todo período		Primavera		Verano		Otoño		Invierno	
	Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango
Mortalidad	5,31	0-15	5,11	0-12	4,74	0-12	5,14	1-13	6,28	1-15
SO <sub>2</sub>	24,40	3,86-242,75	20,29	3,86-72,95	22,61	4,71-56,86	25,46	3,92-214,71	29,282	4,00-242,75
Partículas	98,13	18,57-295,40	80,31	18,57-160,86	86,02	34,14-195,86	118,64	28,86-261,29	107,91	27,29-295,40
Temperatura	13,49	1,45-26,85	13,80	6,70-24,75	18,98	12,9-26,85	12,06	4,35-20,25	8,95	1,45-16,10
Humedad	77,26	28,50-98,00	72,53	28,50-96,00	74,67	42,25-98,00	83,79	49,75-98,00	78,31	35,25-98,00
Gripe	41,04	1,43-189,57	36,49	7,86-111,14	11,26	1,43-36,86	40,41	9,00-95,71	77,31	22,14-189,57

contaminantes atmosféricos estudiados (SO<sub>2</sub> y partículas) no sobrepasaron, por término medio, los niveles recomendados por la OMS. Sin embargo, las partículas alcanzan concentraciones superiores a los 125 µg/m<sup>3</sup> del nivel guía en 300 días (el 21% de los días), distribuidos a lo largo de todas las estaciones del año, con un máximo de 295,39 µg/m<sup>3</sup> (figura 1a) y lo mismo sucede con el SO<sub>2</sub> en 14 días de otoño e invierno, con un máximo de 244,17 µg/m<sup>3</sup> (figura 1b).

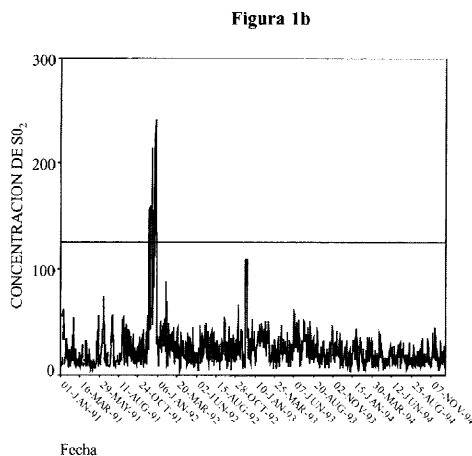
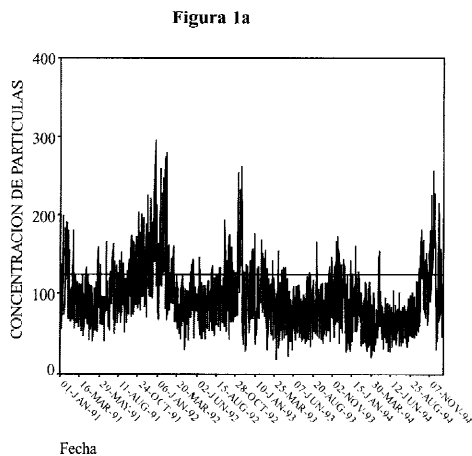
La correlación entre las estaciones medidas de SO<sub>2</sub> oscila entre 0,539 y 0,746 y, en el caso de las partículas, entre 0,455 y 0,677; mientras que entre ambos contaminantes es de 0,451.

Con relación a las variables meteorológicas, la humedad más elevada se observó en otoño (83,79%) y la más baja en primavera (72,53%). La temperatura media para todo el período fue bastante suave (13,49 °C), presentándose la máxima en verano, con 18,98 °C y la mínima en invierno, con 8,95 °C.

Hemos comparado la temperatura entre las estaciones meteorológicas del aeropuerto y de la ciudad de Vigo en 1996 y encontramos que, en casi todos los meses del año, hay alrededor de tres grados menos en la ciudad. Pero estas diferencias de temperatura no son constantes, sino que dependen del mes: en agosto hay 1,88 °C (la diferencia menor) y en enero 3,70 °C (la mayor diferencia).

Figura 1

Concentración de partículas (figura 1a) y de SO<sub>2</sub> (figura 1b) a lo largo del período estudiado. Se representan los niveles recomendados por la OMS mediante una línea horizontal



### Resultados del modelo paramétrico

En el modelo basal resultaron significativos el cuadrado de la temperatura, así como los retardos 1.º y 6.º, el 5.º retardo de humedad y la gripe de los 10.º y 11.º días anteriores.

En la tabla 2 se observan los RR de morir para incrementos de 10µgr/m<sup>3</sup> de cada contaminante, así como estos riesgos con el retardo de mortalidad que se ajusta mejor. En ningún caso se han encontrado efectos significativos.

Tabla 2

Relación entre contaminación atmosférica y mortalidad en la ciudad de Vigo (1991-1994): Modelo paramétrico

Contaminante	Retardo y autorregresivos	RR (IC 95%) <sup>a</sup>
SO2	Mismo día	1,0001 (1,0129-0,9873)
	Retardo 1	1,0083 (1,0214-0,99953)
	Retardo 2	1,0008 (1,0142-0,9874)
	Retardo 3	1,0001 (1,0138-0,9864)
	Retardo 4	0,9948 (1,0093-0,9803)
	Retardo 5	0,9954 (1,0103-0,9805)
	Retardo 1 con 4.º retardo de mortalidad	1,0066 (1,0195-0,9936)
PARTICULAS	Mismo día	
	Retardo 1	1,0035 (1,0100-0,9970)
	Retardo 2	1,0006 (1,0071-0,9942)
	Retardo 3	1,0005 (1,0070-0,9940)
	Retardo 4	0,9964 (1,0029-0,9898)
	Retardo 5	0,9960 (1,0025-0,9894)
	Retardo 5 con 6.º Retardo de Mortalidad	0,9959 (1,0024-0,9893)

<sup>a</sup> Riesgo relativo de mortalidad e intervalo de confianza del 95% para un incremento de 10 µg/m<sup>3</sup>.

### Resultados del modelo no paramétrico

La tabla 3 recoge el proceso de elaboración del modelo no paramétrico. Se empezó con la variable tendencia y el número de gl que minimizaba el AIC fue de 35, aproximadamente el 75% de los meses de los que consta el período estudiado.

Las variables meteorológicas que minimizan el AIC son la temperatura del mismo día (con 3 gl) y la media móvil de los tres días anteriores (con 4 gl). En cuanto a la humedad, minimizan el AIC los valores del mismo día (con 3 gl) y la media móvil de los seis días anteriores (con 3 gl). En la figura 2 se puede observar el efecto que sobre la mortalidad tiene la temperatura del mismo día (figura 2a), el efecto de la temperatura media de los tres días anteriores (figura 2b), el efecto de la humedad del mismo día (figura 2c) y de los 6 anteriores (figura 2d).

Los días de la semana, los festivos y los días inusuales no entraron en los modelos definitivos ya que no mejoraban el AIC. Para la variable gripe, como varios retardos mejoraban el modelo con funciones similares, se elaboró una media móvil de 10 días, que también mejoró el AIC.

Respecto a los contaminantes, el único retardo que mejora el AIC es el de partículas del día anterior (RR = 1,05 [IC: 1,01-1,09]), efecto que se mantiene al incluir los términos autorregresivos 1, 2, 3 y 5.

El efecto de la temperatura sobre la mortalidad por todas las causas, excepto las externas, tiene un comportamiento distinto el mismo día que los tres días anteriores. Con la humedad ocurre algo similar al efecto de la temperatura: el comportamiento en el mismo día es diferente al de los 6 anteriores.

Tabla 3

Proceso de elaboración del modelo no paramétrico que relaciona la mortalidad por todas las causas en la ciudad de Vigo con la climatología, gripe, y contaminantes

<i>Modelo</i>	<i>Descripción</i>	<i>AIC<sup>a</sup></i>
<b>Tiempo</b>		
T0	Constante	
T1	T0 + tiempo (35gl)*	5.499416
<b>Climatología</b>		
C0	T1	5.499416
C1	C0 + temperatura del mismo día (3gl)*	5.463068
C2	C1 + humedad del mismo día (4gl)*	5.462459
C3	C1 + media móvil de temperatura los tres días anteriores (3gl)*	5.443583
C4	C2 + media móvil de humedad de los seis días anteriores (3 gl)*	5.427699
C5	C3 + C4	5.348021
<b>Gripe</b>		
G0	C5	
G1	G0 + media móvil de gripe de los últimos 10 días	5.299896
<b>Partículas</b>		
P0	G1	
P1	G1 + partículas del mismo día	5.304916
P2	G1 + partículas del día anterior	5.291316 **
P3	G1 + partículas de dos días antes	5.317715
P4	G1 + partículas de tres días antes	5.318389
P5	G1 + partículas de cuatro días antes	5.306705
P6	G1 + partículas de cinco días antes	5.315517
<b>SO<sub>2</sub></b>		
S0	G1	
S1	G1 + SO <sub>2</sub> del mismo día	5.321398
S2	G1 + SO <sub>2</sub> del día anterior	5.300675
S3	G1 + SO <sub>2</sub> de dos días antes	5.304284
S4	G1 + SO <sub>2</sub> de tres días antes	5.329412
S5	G1 + SO <sub>2</sub> de cuatro días antes	5.346659
S6	G1 + SO <sub>2</sub> de cinco días antes	5.303400
<b>Autorregresivos</b>		
AR0	P2	
AR1	P2 + autorregresivos de orden 1	5.282327 **
AR2	P2 + autorregresivos de orden 2	5.288944 **
AR3	P2 + autorregresivos de orden 3	5.286527 **
AR4	P2 + autorregresivos de orden 4	5.298069
AR5	P2 + autorregresivos de orden 5	5.291047 **
AR6	P2 + autorregresivos de orden 6	5.299721
AR7	P2 + autorregresivos de orden 7	5.293216
AR13	AR1 + autorregresivos de orden 3	5.276448 **
AR123	AR13 + autorregresivos de orden 2	5.271266 **
AR1235	AR123 + autorregresivos de orden 5	5.268820 **

<sup>a</sup> Akaike's Information Criterion.

\* Grados de libertad de la función suavizada.

\*\*  $p < 0,05$ .

Figura 2

Influencia de la temperatura y de la humedad sobre la mortalidad. En el eje de ordenadas se representa el Ln (RR) y en el eje de abscisas la temperatura del mismo día (figura 2a), la media de la temperatura de los tres días anteriores (figura 2b), la humedad del mismo día (figura 2c) y la media de la humedad de los seis días anteriores (figura 2d).

Figura 2a

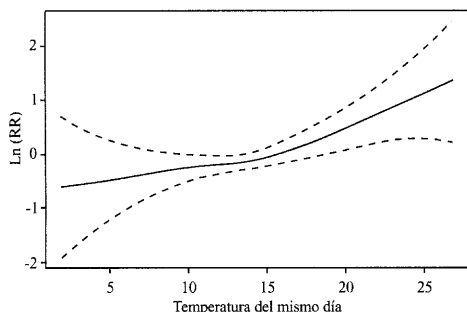


Figura 2b

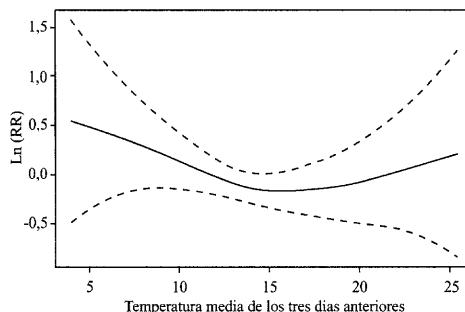


Figura 2c

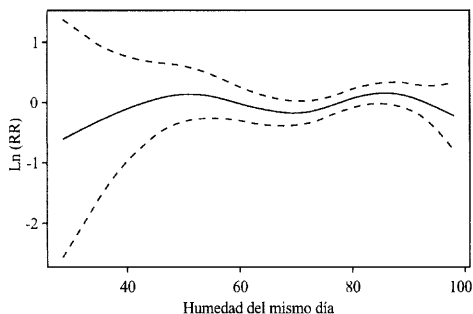
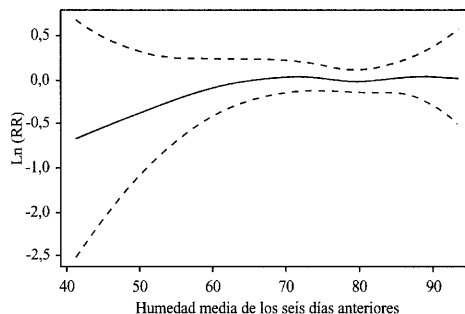


Figura 2d



## CONCLUSIÓN

A pesar de que los niveles de contaminación atmosférica de la ciudad de Vigo se encuentran dentro de los valores considerados como seguros en las guías de calidad del aire, con el método no paramétrico se ha observado que las partículas del día anterior influyen en la mortalidad.

## AGRADECIMIENTOS

A la Consellería de Sanidade de la Xunta de Galicia por habernos facilitado los datos

necesarios para realizar este estudio. A Ferrán Ballester y Santiago Pérez Hoyos por sus comentarios en las versiones previas del manuscrito.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Ballester Díez F, Sáez Zafra M, Alonso Fustel ME, Taracido Trunk M, Ordóñez Iriarte JM, Aguinaga Ontoso I, y cols. El proyecto EMECAM: Estudio multicéntrico español sobre la relación entre la contaminación atmosférica y la mortalidad. Antecedentes, participantes, objetivos, material y métodos. Rev Esp Salud Pública. 1999; 73:165-175.

2. Pérez-Hoyos S, Sáez Zafra M, Barceló MA, Cambra K, Guillén Grima F, Bellido Velasco J, y cols. Protocolo EMECAM: análisis del efecto a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad. *Rev Esp Salud Pública.* 1999; 73:177-185.
3. Hastie TJ, Tibshirani RJ. Generalized additive models. New York: Chapman and Hall; 1990.
4. Kelsall JE; Samet JM; Zeger SL; Xu J. Air pollution and mortality in Philadelphia, 1974-1988. *Am J Epidemiol.* 1997; 46 (9): 750-762.
5. Air quality guidelines for Europe. World Health Organization. Regional Office for Europe. WHO Regional Publications, European Series N.º 23. Copenhagen, 1987.