

EFFECTOS A CORTO PLAZO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE LA MORTALIDAD. RESULTADOS DEL PROYECTO EMECAM EN LA CIUDAD DE VALENCIA, 1994-96

José María Tenías Burillo (1,2), Santiago Pérez-Hoyos (1), Rosa Molina Quilis (3), Julián González-Aracil (1), Ferran Ballester Díez (1).

(1) Institut Valencià d'Estudis en Salut Pública (IVESP), D. G. Salud Pública. Conselleria de Sanidad. Generalitat Valenciana.

(2) Servei de Medicina Preventiva. Hospital Lluís Alcanyis, Xàtiva.

(3) Centro de Salud Pública de Alzira. D. G. Salud Pública. Conselleria de Sanidad. Generalitat Valenciana.

RESUMEN

Fundamento: Estimar el efecto a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad en la ciudad de Valencia, durante el periodo 1994-1996, utilizando la metodología de análisis del estudio multicéntrico español sobre la relación entre la contaminación atmosférica y la mortalidad (proyecto EMECAM).

Métodos: De la red de vigilancia de la contaminación atmosférica de Valencia se obtuvieron los niveles diarios de humos negros, dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO) y ozono (O₃). Los indicadores de mortalidad analizados fueron el número diario de defunciones por todas las causas, menos las externas, la mortalidad en mayores de 70 años, y la ocurrida por enfermedades respiratorias y del aparato circulatorio. Siguiendo la metodología del proyecto EMECAM se construyeron modelos de regresión autoregresiva de Poisson controlando por los diferentes factores de confusión (estacionalidad, tendencia, calendario, variables meteorológicas e incidencia de gripe).

Resultados: Para la mortalidad por todas las causas menos las externas se halló un efecto significativo de los humos negros (RR 10 µg/m³: 1,013; IC_{95%} 1,003 a 1,023) y del CO 24 horas (RR 1 mg/m³: 1,024; IC_{95%} 1,003 a 1,046). Para la mortalidad en mayores de 70 años el efecto estimado fue algo mayor para humos negros (RR 10 µg/m³: 1,017; IC_{95%} 1,005 - 1,029), así como para SO₂ 1h (RR 10 µg/m³: 1,010; IC_{95%} 1,002 - 1,018) y NO₂ 1h (RR 10 µg/m³: 1,007; IC_{95%} 1,001 - 1,013). No se encontró una asociación significativa con la mortalidad por enfermedades respiratorias y del aparato circulatorio para todo el periodo.

Conclusiones: Los niveles actuales de contaminación en la ciudad de Valencia presentan un efecto significativo sobre la mortalidad diaria. Estos resultados son consistentes con los de investigaciones anteriores y coherentes con los obtenidos al analizar la relación entre contaminación atmosférica e indicadores de morbilidad.

Palabras clave: Contaminación atmosférica. Mortalidad. Series temporales. Proyectos multicéntricos.

ABSTRACT

The Short-term Impact of Air Pollution on the Mortality. Results of the EMECAM Project in the city of Valencia, 1994-96

Background: To determine the short-term impact of air pollution on mortality in the city of Valencia throughout the 1994-1996 period by employing the analysis method of the Spanish multicenter study with regard to the relationship between air pollution and the mortality (EMECAM Project).

Methods: The daily levels of black smoke, sulfur dioxide (SO₂), nitrogen dioxide (NO₂), carbon monoxide (CO) and ozone (O₃) were obtained from the Valencia air pollution monitoring network. The death rate indicators analyzed were the daily number of deaths due to all causes, except the external ones, the deaths of those over age 70, and the deaths resulting from respiratory and cardiovascular diseases. Following the methods of the EMECAM Project, autoregressive Poisson regression models were built up, controlling the different confounding factors (seasonality, trend, calendar, weather variables and flu impact).

Results: For total mortality except the external ones, a significant impact of black smoke (RR 10 µg/m³: 1.013; CI_{95%} 1.003 to 1.023) and for CO 24 h (RR 1 mg/m³: 1.024; CI_{95%} 1.003 to 1.046) was found. For the mortality of those individuals over 70, the estimated impact was somewhat greater than for black smoke (RR 10 µg/m³: 1.017; CI_{95%} 1.005-1.029), as well as for CO 24 h (RR 1 mg/m³: 1.007; CI_{95%} 1.001-1.013). No significant relationship was found with the mortality due to respiratory or cardiovascular diseases for the entire period.

Conclusions: The current levels of pollution in the city of Valencia show a significant impact on daily mortality. These findings are consistent with the previous research and are coherent with those obtained on analyzing the relationship between air pollution and morbidity indicators.

Key words: Air pollution. Mortality. Time series. Multi-center projects.

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Valencia, la asociación entre mortalidad y contaminación atmosférica ha sido estudiada previamente¹. En esta investigación se analizó, para el periodo 1991-1993, la asociación entre los niveles de humos negros y dióxido de azufre (SO₂) («contaminantes clásicos») y diferentes indicadores de mortalidad. Los hallazgos fueron más consistentes para humos negros, de manera que un incremento en 10 µg/m³ en los niveles diarios de este contaminante se asoció con un aumento esperado en la mortalidad por todas las causas del 0,9% (IC_{95%} 0,3 a 1,5%).

En el presente estudio se añaden al análisis otros contaminantes, como el dióxido de nitrógeno (NO₂), el monóxido de carbono (CO) y el ozono (O₃). Éstos, junto con los humos negros y el SO₂, forman parte de la compleja mezcla de contaminación presente en el aire de las ciudades y constituyen, junto con el plomo, el grupo de los denominados «contaminantes criterio»². Las relaciones entre estos contaminantes son complejas³, siendo frecuentes los fenómenos de covariación (es clásica la correlación entre partículas y SO₂) y de dependencia (el NO₂ actúa como un precursor del ozono). Todo ello hace que la atribución de los efectos para un determinado contaminante deba contemplarse con cautela.

Además de introducir más contaminantes, en este estudio el periodo analizado abarca una serie de tres años, desde 1994 a 1996, que puede considerarse representativa de los actuales niveles de contaminación en nuestra ciudad.

Nuestro objetivo es evaluar, mediante la aplicación de la metodología de análisis estandarizada del proyecto EMECAM, los efectos agudos de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad en Valencia.

MATERIAL Y MÉTODOS

Ámbito

La ciudad de Valencia tiene en la actualidad una población aproximada de 750.000

habitantes (censo de 1996). Su situación a orillas del mar Mediterráneo le confiere un clima de tipo mesotermal, con inviernos templados y veranos secos y calurosos¹.

Mortalidad

Para el proyecto EMECAM se seleccionaron diferentes indicadores de mortalidad, todos ellos obtenidos del registro de mortalidad de la Comunidad Valenciana. Los casos seleccionados se refieren a aquellas personas con residencia en la ciudad y cuya defunción ocurrió en la misma. Los indicadores fueron: a) mortalidad por todas las causas, menos las externas, en todas las edades; b) mortalidad por todas las causas, menos las externas, en personas de 70 ó más años, c) mortalidad por enfermedades respiratorias y d) mortalidad por enfermedades del aparato circulatorio. Se dispuso de las series diarias desde el 1 de enero de 1994 hasta el 31 de diciembre de 1996.

Contaminación atmosférica

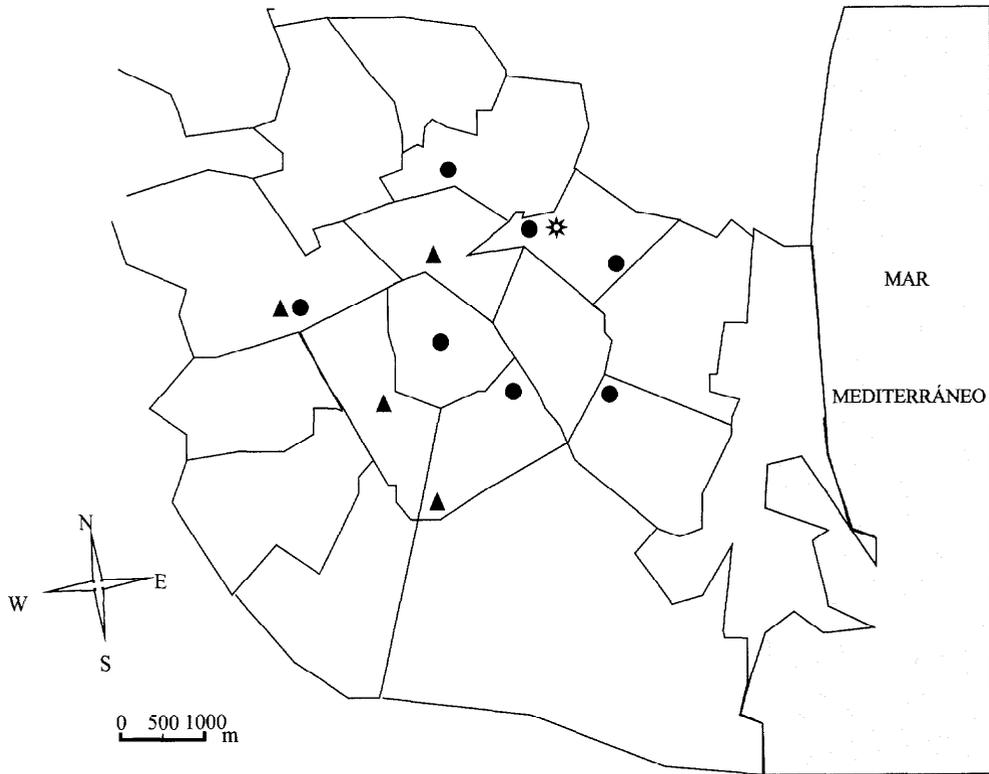
Valencia dispone en la actualidad de dos redes de vigilancia de la contaminación atmosférica, una red manual con 22 captadores y otra automática con 5, ambas gestionadas por el Ayuntamiento de la ciudad. En la red manual se monitorizan los niveles diarios de humos negros (*British smoke*, determinados por el método reflectométrico) y de SO₂ (método de la Thorina). La red automática mide los niveles de SO₂ (fluorescencia ultravioleta), NO₂ (quimioluminiscencia), CO (absorción infrarroja) y O₃ (absorción ultravioleta). De la red manual se obtuvieron los niveles medios diarios (24 h) de humos negros, descartando los niveles de SO₂ por el método de la Thorina, por disponer de la medida automatizada. De la red automática se calcularon tanto los niveles medios diarios como el valor máximo horario (1 hora) de SO₂, NO₂ y CO. Para el ozono se calcularon los niveles máximos de 8 horas (franja horaria de 8 horas con el máximo ni-

vel de O₃). Siguiendo los criterios de proyecto EMECAM⁴ se seleccionaron solamente aquellos captadores que tuvieran al menos un 75% de lecturas válidas para toda la serie. Con este criterio se incluyeron, fi-

nalmente, 7 captadores manuales y 4 estaciones automáticas (figura 1). Las correlaciones entre los diferentes captadores varió entre 0,30 y 0,62 en la red manual y entre 0,39 y 0,76 en la automática.

Figura 1

Mapa de los Distritos Municipales de la ciudad de Valencia en el que se muestra la distribución de los captadores manuales (círculos) y estaciones automáticas (triángulos) de la Red de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica seleccionados en el estudio. La estrella representa el emplazamiento del Centro Meteorológico Zonal de Valencia



Variables meteorológicas

Las dos variables seleccionadas en el proyecto EMECAM fueron la temperatura media (media de la temperatura mínima y máxima de cada día) y la humedad relativa diaria (media de la humedad a las 7, 13 y 18 horas). En el caso de esta última no se dispuso de las lecturas correspondientes a las 0 horas, por lo que los niveles calculados pueden infraesti-

mar los reales. Ambas variables meteorológicas se obtuvieron en el Centro Meteorológico Zonal de Valencia, instalado dentro del casco urbano de la ciudad (figura 1).

Otras variables

La incidencia de gripe se obtuvo del sistema de Enfermedades de Declaración Obli-

gatoria (EDO), asignando a cada día la séptima parte del número de casos declarados durante la semana. La cobertura del sistema de declaración en Valencia se ha mostrado como aceptable⁵.

Entre los efectos calendario incluidos en los modelos basales, aparte de los días de la semana, se comprobó la influencia de los días de fiesta (diferentes al domingo) o de eventos especiales como la huelga de médicos, que en nuestra ciudad se desarrolló entre el 16 de mayo y el 20 de junio de 1995. Tanto para los días de fiesta como para la huelga se creó una variable indicadora (*dummy*) que tomaba el valor 1 en los días en los que se produjo el acontecimiento y 0 en el resto de la serie.

Análisis estadístico

De acuerdo con la metodología del proyecto EMECAM⁴ se construyeron modelos de re-

gresión autoregresiva de Poisson, controlando por los diferentes factores de confusión (estacionalidad, tendencia, calendario, variables meteorológicas e incidencia de gripe).

RESULTADOS

En la tabla 1 se resumen los valores de los diferentes indicadores de mortalidad. La mediana del número diario de muertes por todas las causas menos las externas fue 16 (rango de 5 a 34 defunciones). De éstas, como era de esperar, una gran parte afectaron a personas con 70 ó más años. Por causas específicas, fueron más numerosas las muertes por enfermedades del aparato circulatorio que por respiratorias. La estacionalidad de las series de mortalidad mostró un mayor número de casos durante el semestre frío que en el cálido.

Los niveles de contaminación atmosférica en Valencia para el periodo de análisis se

Tabla 1

Estadísticos descriptivos de los indicadores de mortalidad (casos diarios), variables meteorológicas, incidencia de gripe y contaminantes. Valencia, período 1994-1996

	Media	Mínimo	P10	P90	Máximo	Semestre	Semestre
						cálido *	frío *
						Media	Media
Mortalidad por todas las causas menos las externas	16,1	5	11	22	34	14,8	17,4
Mortalidad en mayores de 70 años	11,1	3	7	16	24	10,0	12,3
Mortalidad por enfermedades respiratorias	1,5	0	0	3	7	1,2	1,8
Mortalidad por enfermedades cardiovasculares	6,2	0	3	10	18	5,5	7,0
Temperatura media (° C)	18,6	6,5	11,7	26,6	33,8	22,9	14,3
Humedad relativa (%)	63,2	23,0	43,0	79,0	96,0	65,3	61,0
Gripe (casos/día)	172,5	3,0	13,0	398,6	660,4	68,6	277,9
Humos negros ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	44,2	8,0	22,3	71,0	136,2	37,2	51,3
SO ₂ 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	25,6	4,4	11,3	40,3	68,4	21,6	29,7
SO ₂ 1 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	54,9	8,8	23,2	92,0	157,4	48,2	61,7
NO ₂ 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	66,8	11,9	31,8	104,5	155,1	66,8	66,9
NO ₂ 1 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	116,6	31,1	58,4	176,0	304,9	116,3	116,8
CO 24 h (mg/m^3)	2,75	0,25	1,50	4,17	6,71	2,23	3,28
CO 1 h (mg/m^3)	6,18	0,60	3,18	9,65	17,85	5,05	7,31
O ₃ 8 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	45,5	10,2	19,5	71,6	125,0	54,2	36,6

24 h promedio diario; 1h nivel máximo horario; 8 h nivel máximo de 8 horas.

* Semestre cálido: mayo a octubre; semestre frío: noviembre a abril.

situaron en general dentro de los estándares de calidad del aire establecidos por la OMS en 1987⁶ (Tabla 1). Como excepción, los niveles de humos negros durante el semestre más frío superaron el valor guía de 125 µg/m³ en siete días (0,6% de la serie) y el NO₂ 24h (promedio de 24 horas) el umbral de 150 µg/m³ un día (0,09%). La estacionalidad de las series de humos negros, SO₂ y CO, fue similar a las de mortalidad, con niveles más altos durante la época más fría del año. Por el contrario, el ozono presentó una estacionalidad opuesta con niveles mayores durante los meses más cálidos. El NO₂ no presentó una estacionalidad identificable.

Según se muestra en la tabla 2 los niveles de humos negros, SO₂ y CO presentaron una alta correlación lineal positiva entre ellos.

El O₃ se correlacionó negativamente con el resto de contaminantes y el NO₂ mostró una correlación lineal bastante pobre con el resto de las series. La temperatura se relacionó positivamente con el ozono y negativamente con los humos negros, SO₂ y CO.

Los residuos de los modelos de regresión de Poisson construidos para cada indicador de mortalidad no presentaron autocorrelaciones significativas excepto en la serie de mortalidad por todas las causas, evidenciando algún problema de especificación, que se solucionó introduciendo términos autorregresivos⁷.

En la tabla 3 se muestran los resultados para cada contaminante, expresados como el riesgo relativo (RR) de mortalidad para

Tabla 2
Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables meteorológicas y contaminantes atmosféricos

	Temperatura media	Humedad	Humos negros	SO ₂ 24 h	NO ₂ 1 h	CO 24 h	O ₃ 8 h
Temperatura media	1	0,07	-0,41	-0,42	-0,10	-0,55	0,45
Humedad		1	0,07	-0,18	-0,10	-0,02 *	-0,10
Humos negros			1	0,63	0,33	0,64	-0,57
SO ₂ 24 h				1	0,22	0,74	-0,35
NO ₂ 1 h					1	0,03 *	-0,26
CO 24 h						1	-0,42
O ₃ 8 h							1

Temperatura media: temperatura media. 24 h promedio diario; 1 h nivel máximo horario; 8 h nivel máximo de 8 horas.

* p>0.05.

Tabla 3
Asociación entre contaminación atmosférica y mortalidad en Valencia, período 1994-1996

	Mortalidad por todas las causas		Mortalidad en mayores de 70 años		Mortalidad por enfermedades respiratorias		Mortalidad por enfermedades circulatorias	
	Ret.	RR (IC 95%)*	Ret.	RR (IC 95%)*	Ret.	RR (IC 95%)*	Ret.	RR (IC 95%)*
Humos negros	1	1,0127 (1,0029-1,0225)	1	1,0168 (1,0050-1,0288)	3	0,9811 (0,9519-1,0111)	1	1,0095 (0,9949-1,0244)
SO ₂ 24 h	3	0,9910 (0,9743-1,0083)	0	1,0166 (0,9947-1,0389)	0	1,0309 (0,9785-1,0860)	2	0,9822 (0,9569-1,0081)
SO ₂ 1 h	0	1,0055 (0,9990-1,0121)	0	1,0102 (1,0021-1,0184)	0	1,0118 (0,9916-1,0325)	4	0,9943 (0,9843-1,0044)
NO ₂ 24 h	1	1,0076 (0,9976-1,0176)	1	1,0116 (0,9997-1,0237)	4	0,9867 (0,9562-1,0181)	1	1,0039 (0,9941-1,0138)
NO ₂ 1 h	1	1,0048 (0,9997-1,0100)	5	1,0068 (1,0007-1,0129)	1	1,0068 (0,9892-1,0247)	5	1,0022 (0,9963-1,0081)
CO 24 h	1	1,0243 (1,0033-1,0458)	1	1,0243 (0,9988-1,0505)	1	1,0310 (0,9680-1,0982)	5	1,0065 (0,9783-1,0355)
CO 1 h	3	1,0071 (0,9998-1,0145)	5	1,0064 (0,9977-1,0152)	4	0,9940 (0,9720-1,0165)	5	1,0035 (0,9928-1,0143)
O ₃ 8 h	2	1,0118 (0,9985-1,0252)	2	1,0147 (0,9989-1,0307)	5	0,9716 (0,9299-1,0152)	5	1,0127 (0,9929-1,0330)

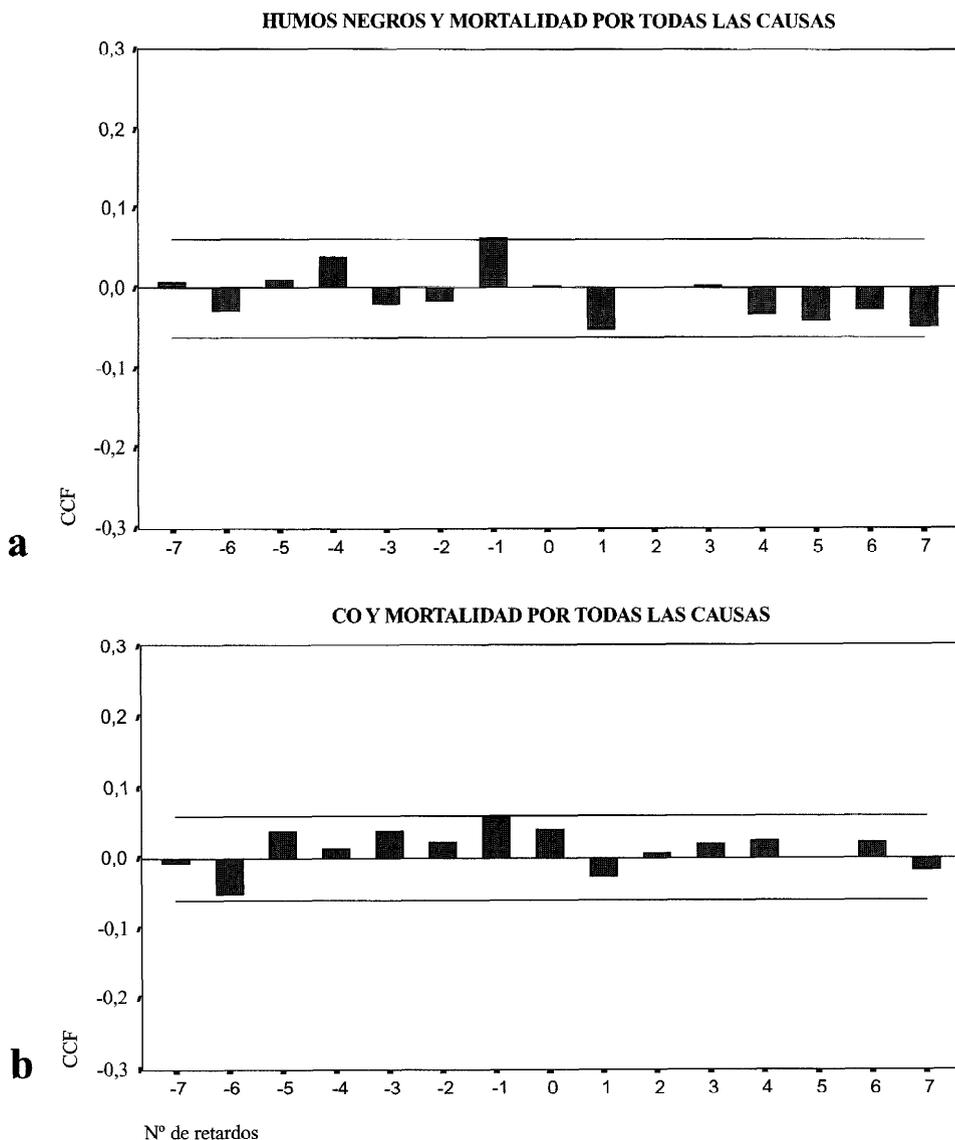
* Riesgo relativo de mortalidad e intervalo de confianza del 95% para un incremento en los niveles de contaminante de 10 µg/m³ (1 mg/m³ para CO). Ret.: Retardo.

un incremento en 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 mg/m^3 para CO) en los niveles del contaminante. Los efectos más significativos correspondieron a humos negros, SO_2 1h, NO_2 1h y CO 24h, para los indicadores de mortalidad por todas

las causas (todas las edades y mayores de 70 años). Los retardos seleccionados fueron aquellos con una estimación más precisa, tal y como se puede comprobar en los gráficos de correlaciones cruzadas (CCF) de la figu-

Figura 2

Funciones de correlaciones cruzadas (CCF) entre la mortalidad por todas las causas y los promedios diarios de humos negros (a), y de monóxido de carbono (b), en Valencia, período 1994-1996, después de ajustar por el modelo basal correspondiente



ra 2. Los coeficientes de correlación de los retardos negativos (parte izquierda del gráfico) indican la influencia del contaminante en el día indicado (0 el mismo día, -1 el día anterior y así sucesivamente) sobre la mortalidad diaria. La parte derecha (retardos positivos) indicaría la hipotética influencia de la mortalidad sobre la contaminación, por lo que deben de permanecer dentro de las bandas de no significación estadística.

En el análisis estratificado por semestres, los resultados fueron similares a los de todo el periodo. Sin embargo, para la mortalidad por enfermedades circulatorias se observó una modificación de efecto significativa del CO con respecto al semestre de estudio. El CO 24h, retardo 5, presentó un efecto positivo durante la época más cálida (RR 1 mg: 1,068; IC95%: 1,007 - 1,133) que no se encontró durante el resto del año (RR 1 mg: 0,990; IC95% 0,959 - 1,022). Este fenómeno de interacción significativa se observó para otros retardos (1 y 3) del mismo contaminante.

En el caso de las enfermedades respiratorias se observó de forma aislada un fenómeno de interacción en sentido contrario al descrito en el párrafo anterior para los humos negros en el retardo 0. El efecto fue negativo y significativo en el semestre cálido (RR 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$: 0,937; IC95% 0,880 - 0,998) y positivo en el más frío (RR 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$: 1,021; IC95% 0,990 - 1,054). Esta interacción no se evidenció para el resto de retardos de humos negros ni para los demás contaminantes analizados.

En la figura 3 se representan, para la mortalidad por todas las causas y en mayores de 70 años, los RR correspondientes a incrementos equivalentes (diferencia entre percentiles 90 y 10: P_{90-10}) para diferentes con-

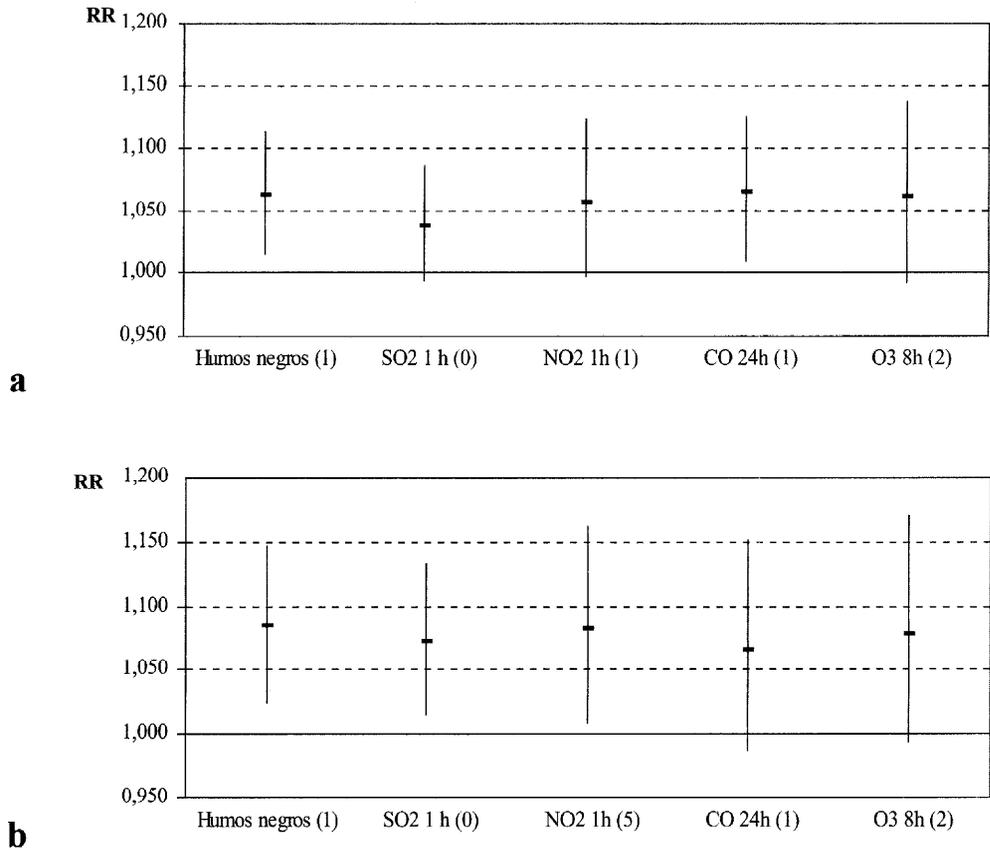
taminantes. Los incrementos esperados en la mortalidad por todas las causas fueron de un 6% para todos los contaminantes seleccionados salvo el SO_2 , con un 3,9%. Este incremento se situó en torno a un 7% en la mortalidad de mayores de 70 años.

CONCLUSIONES

1. Los resultados muestran una asociación significativa de la mortalidad diaria en la ciudad de Valencia, especialmente con la contaminación por partículas, aunque pueden estar implicados otros contaminantes como CO, NO_2 y SO_2 .
2. Las asociaciones entre los niveles de contaminación y el número de defunciones fueron más consistentes para los indicadores de mortalidad total y en mayores de 70 años. Para la mortalidad por enfermedades respiratorias, al igual que para las circulatorias, los hallazgos fueron menos sólidos, no hallándose un efecto significativo para ningún contaminante cuando se analizaba todo el periodo.
3. Los efectos de los diferentes contaminantes son muy similares cuando se calculan para incrementos equivalentes en sus niveles (P_{90-10}), situándose en torno al 6% para la mortalidad por todas las causas y al 7% en mayores de 70 años. Esto podría ser debido, en parte, a la correlación entre contaminantes.
4. Con relación al estudio anterior sobre la mortalidad, realizado para el periodo 1991-19931, la asociación entre humos negros y mortalidad total y en mayores de 70 años es, aunque igualmente significativa, de magnitud ligeramente superior.

Figura 3

Asociación de la mortalidad por todas las causas en todas las edades (a) y en mayores de 70 años (b) con la contaminación atmosférica en Valencia, período 1994-1996. El efecto representado corresponde al riesgo relativo de mortalidad (e intervalo de confianza del 95%) asociado a un incremento en los niveles de contaminante equivalente a la diferencia entre los percentiles 90 y 10 (P_{90-10}). Los retardos para cada contaminante (entre paréntesis) son los mismos que los expuestos en la tabla 3



BIBLIOGRAFÍA

- Ballester F, Corella D, Pérez-Hoyos S, Hervás A. Air pollution and mortality in Valencia, Spain: a study using the APHEA methodology. *J Epidemiol Community Health* 1996; 50: 527-33.
- A committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society. Health effects of outdoor air pollution. *Am J Respir Crit Care Med* 1996; 153:3-50.
- Sanz JM. La contaminación atmosférica. Unidades temáticas ambientales de la Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Transportes; 1991.
- Ballester F, Sáez M, Alonso ME, Taracido M, Ordóñez JM, Aguinaga I, et al. El proyecto EMECAM: Estudio multicéntrico sobre la relación entre la contaminación atmosférica y la mortalidad. *Rev Esp Salud Pub* 1999; 73:165-175.
- Tello O, Cano R, Hernández G. Situación actual y análisis de la vigilancia epidemiológica en España. En: *Vigilancia Epidemiológica: ¿Hacia que modelo vamos?* Madrid: Centro Nacional de Epidemiología; 1992.p. 91-9.
- World Health Organization. Air quality guidelines for Europe. WHO Regional Publications European Series N.º 23. Copenhagen: WHO; 1987.
- Sáez M, Pérez-Hoyos S, Tobías A, Saurina C, Barceló MA, Ballester F. Métodos de series temporales en los estudios epidemiológicos sobre contaminación atmosférica. *Rev Esp Salud Pública* 1999; 73:133-143.