

## EFFECTOS A CORTO PLAZO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE LA MORTALIDAD: RESULTADOS DEL PROYECTO *EMECAM* EN CASTELLÓN, 1991-95 \*

Juan B Bellido Blasco (1), Carlos Felis Daudí (2), Alberto Arnedo Pena (1), Francisco González Morán (1), Concha Herrero Carot (1) y Lourdes Safont Adsuara (1)

(1) Sección de Epidemiología. Dirección Territorial de Sanidad Castellón. Conselleria de Sanitat.

(2) Sección de Calidad Ambiental. Dirección Territorial de Medio Ambiente de Castellón. Conselleria de Medi Ambient.

(\*) Este trabajo cuenta con una beca del Fondo de Investigaciones Sanitarias (Expediente núm 97/0051-8).

### RESUMEN

**Fundamento:** En la última década se vienen realizando estudios que identifican una asociación entre la contaminación atmosférica y la mortalidad por debajo de los niveles permitidos de contaminación. Castellón es una ciudad pequeña (134.000 habitantes), con niveles de polución atmosférica bastante bajos. Este trabajo tuvo como objetivo identificar si en esta ciudad existe alguna relación a corto plazo entre estas dos variables.

**Método:** Se analizaron los datos de mortalidad y de contaminación atmosférica (humos negros, SO<sub>2</sub>), durante el período de 1991 a 1995, mediante un estudio ecológico de series temporales, con el día como unidad de análisis. La regresión de Poisson permitió obtener riesgos relativos ajustados por otras covariables (meteorológicas, tendencia, incidencia de gripe, días de la semana, estacionalidad) en modelos autorregresivos.

**Resultados:** El promedio diario de humos negros fue 24,6 µg/m<sup>3</sup> y el de SO<sub>2</sub> 15,7 µg/m<sup>3</sup>. Los resultados mostraron un aumento de la mortalidad cardiovascular de un 3,6% (IC<sub>95</sub> 0,3-7,0) para el SO<sub>2</sub> y de un 3,5% (IC<sub>95</sub> 0,5-6,5) para los humos negros, por incremento de 10 µg/m<sup>3</sup> de los contaminantes. Además, el SO<sub>2</sub> mostró una asociación positiva con los cuatro grupos de causas de muerte, pero exclusivamente en el semestre frío.

**Conclusiones:** Incluso en una ciudad pequeña con bajos niveles de contaminantes, hemos observado una asociación entre éstos y la mortalidad diaria inmediata. En algunos casos esta asociación se ve fuertemente modificada en el análisis por semestres (cálido y frío).

**Palabras clave:** Contaminación atmosférica. Mortalidad. Series temporales.

### ABSTRACT

#### The Short-term Impact of Air Pollution on the Mortality. Results of the *EMECAM* Project in Castellón, 1991-95

**Background:** In the last decade several studies have found out an association between air pollution and mortality in levels below the standards allowed by regulations. Castellón is a small city (134.000 inhabitants) with low air pollution levels. This work aims to identify if there is a short term relation between these both variables in this city.

**Methods:** We used mortality data and air pollution data (black smoke and sulphur dioxide), from 1.991 to 1.995, doing an ecological study using a time series analysis with the day as unit of the analysis. Poisson regression allow us to get the relative risk adjusted by others variables (meteorological, trend, influenza, day of the week, season) in autorregressive models.

**Results:** Black smoke and SO<sub>2</sub> daily means were respectively 34,6 and 15,7 µg/m<sup>3</sup>. Results showed a 3,6% (IC<sub>95</sub> 0,3-7,0) of SO<sub>2</sub> and 3,5% (IC<sub>95</sub> 0,5-6,5) increment of cardiovascular mortality for an increment of 10 µg/m<sup>3</sup> of SO<sub>2</sub> and black smoke respectively. Sulphur dioxide was positively associated with all four groups of mortality causes but only in cold season.

**Conclusion:** Even in a small city with low air pollution levels, we found an association between air pollution and immediate mortality. In some cases, the analysis by periods (warm and cold) show an strong effect modification.

**Key words:** Air pollution, mortality, time series analysis

### INTRODUCCIÓN

Cuando fue gestado el proyecto *EMECAM*<sup>1</sup> se planteó qué podía aportar a este estudio la inclusión de Castellón, una ciudad bastante pequeña y poco contaminada, en la que nunca se había estudiado la relación en-

tre mortalidad y contaminación del aire. Sin embargo, precisamente el hecho de que sean ciudades mayores las que han sido sometidas a estudios similares en Europa<sup>2</sup>, nos condujo a pensar que el estudio en Castellón merecía ser realizado. Esta ciudad, además, no es un caso singular en España ni en Euro-

pa. Por otra parte, otro estudio anterior sobre esta ciudad sugería una relación positiva entre ingresos por enfermedad pulmonar obstructiva crónica y los niveles de SO<sub>2</sub> y humos negros<sup>3</sup>.

El objetivo del trabajo fue determinar si existe una relación a corto plazo entre la mortalidad y la contaminación atmosférica por humos negros y SO<sub>2</sub>. Se pretendió, también, ofrecer una perspectiva dinámica de la relación entre estos contaminantes y la mortalidad en 6 días sucesivos, distinguiendo los semestres cálido y frío.

## METODOLOGÍA

Se realizó un estudio ecológico de series temporales con el día como unidad de análisis. Se analizó el efecto de la exposición a los contaminantes sobre la mortalidad, teniendo en cuenta otras posibles variables de confusión. Las características de este tipo de diseño en este contexto se exponen en otro lugar<sup>1,4</sup>.

El período de estudio fue el quinquenio comprendido entre enero de 1991 y diciembre de 1995 (1.826 días, que es la unidad de análisis). La ciudad de Castellón se ubica en un llano del litoral mediterráneo, en el cruce del meridiano de Greenwich y el paralelo 40. El clima es templado, con una temperatura media de 21,9 °C en los semestres cálidos y 12,5 °C en los semestres fríos del quinquenio estudiado. Hay pocas industrias contaminantes en su entorno inmediato. La población permanece estable en los últimos años: en 1991 tenía 134.213 habitantes (censo nacional) y en 1996, 135.729 (padrón municipal). Las personas mayores de 70 años representan un 8,4% del total de la población.

Los datos sobre mortalidad fueron facilitados por el Registro de Mortalidad de la Comunidad Valenciana. Se dispuso de las defunciones diarias de los residentes en Castellón. Las muertes por causas externas fueron excluidas del análisis y el resto fueron desagregadas en cuatro grupos: a) todas

las causas, (CIE-9: 001-799), b) fallecidos de 70 o más años (CIE-9:001-799), c) enfermedades del aparato circulatorio (CIE-9: 390-459) y d) enfermedades del aparato respiratorio (CIE-9: 460-519).

En cuanto a la contaminación atmosférica, la Conselleria de Medi Ambient tiene instaladas en la ciudad cuatro estaciones captadoras, pertenecientes a la Red Manual de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica, las cuales miden SO<sub>2</sub> (método de la Thorina) y humos negros (método del humo normalizado). Durante el período de estudio no hubo modificaciones en la ubicación de las estaciones ni en el laboratorio donde se practican las determinaciones analíticas. Las cuatro estaciones cumplían los requisitos de admisibilidad del estudio: zona urbana, fuera de autopistas de acceso limitado, porcentaje de valores válidos superior a 75%, sin pérdidas sistemáticas. De ellas, una está en el centro del casco urbano, dos se encuentran en las zonas urbanas periféricas, y la cuarta en El Grao, zona portuaria a 3,5 kilómetros al Este de la ciudad con algo más de 8000 habitantes pertenecientes al municipio. La estimación de la exposición para toda la población se ha realizado considerando el promedio diario de los valores de cada contaminante medido en las cuatro estaciones captadoras. Cuando no se disponía de la cifra diaria de un contaminante, se le imputó un valor estimado a partir de los de las otras estaciones, siguiendo las recomendaciones del proyecto *EMECAM*<sup>1,4</sup>.

Las variables meteorológicas consideradas fueron la temperatura media (promedio de la máxima y la mínima) y la humedad relativa (promedio de los valores medidos a las 0, 7, 13 y 18 horas). La fuente de esta información fue la estación del Instituto Nacional de Meteorología situada a unos 3 kilómetros al Sur de la ciudad, en el mismo llano.

Las otras variables consideradas fueron: estacionalidad, tendencia, año calendario, día de la semana, acontecimientos especia-

les (festividades locales) e incidencia de gripe. Esta última procedente del registro de Enfermedades de Declaración Obligatoria, que es semanal, dividiendo el total de casos de cada semana por 7 para obtener una estimación diaria.

La codificación de las variables y el procedimiento seguido es el del estudio EMECAM<sup>5</sup>.

Los riesgos relativos se calcularon originalmente por unidad, según la medición de los contaminantes ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), pero se han recalculado para cada incremento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y para un incremento del percentil 10 al 90, según la propia distribución de los valores de humos negros y  $\text{SO}_2$  observada en cada período.

Lo que hemos denominado análisis dinámico consistió en el examen gráfico de los coeficientes de regresión de los contaminantes en cada uno de los días estudiados (mismo día y cinco anteriores), distinguiendo el semestre frío y el cálido, en busca de un patrón que orientara sobre la consistencia interna de las asociaciones ob-

servadas en esos días (es decir, en esos retardos o *lags*).

## RESULTADOS

En correspondencia con la dimensión de la ciudad, el número de defunciones diario es pequeño, sobre todo por enfermedades del aparato respiratorio, donde se observó aproximadamente una defunción cada tres días en promedio (media de 0,3 defunciones diarias). La descripción de ésta y del resto de variables se muestra en la tabla 1.

La distribución temporal de los niveles diarios de humos negros presentó un patrón estacional evidente, con máximos en invierno y mínimos en verano (medias 34,4 y  $17,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), cosa que no fue observada en el  $\text{SO}_2$ , a pesar de las diferencias entre los promedios de las estaciones (17,7 y  $13,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , máximo y mínimo en primavera y otoño). Los coeficientes de correlación entre estaciones captadoras fueron positivos y con significación estadística ( $P < 0,01$ ), con un rango de 0,37 a 0,70 para humos negros y de 0,24 a 0,29 para  $\text{SO}_2$ . La correlación en-

Tabla 1

Estadísticos descriptivos de los indicadores de mortalidad, variables meteorológicas, incidencia de gripe y contaminantes. Valores diarios en la ciudad de Castellón, 1991-1995

	Media	Mínimo	P10	P50	P90	Máximo	Semestre cálido Media	Semestre frío Media
Mortalidad por todas las causas menos las externas (5289 defunciones)	2,9	0	1	3	5	11	2,7	3,1
Mortalidad en personas de 70 y más años (3920)	2,1	0	0	2	4	9	2,0	2,3
Mortalidad por causas del aparato circulatorio (2366)	1,3	0	0	1	3	7	1,2	1,4
Mortalidad por causas del aparato respiratorio (511)	0,3	0	0	0	1	4	0,2	0,3
Temperatura media	17,2	4,1	10,0	16,8	25,6	30,6	21,9	12,5
Humedad relativa (%)	70,7	30,0	53,8	72,5	84,5	95,5	70,0	71,3
Gripe (casos/día)	52,7	2	11	41	112	243	23,9	82,1
Humos negros ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24,6	1	9,4	20,3	43,3	211,5	18,7	30,6
$\text{SO}_2$ 24 h ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	15,7	1	3,0	12,8	33,2	80,8	14,8	16,7

tre los dos contaminantes fue 0,17 (P<0,01). En el 0,2% de los días se superó la cifra de 125 µg/m<sup>3</sup> en los valores imputados de humos negros, ninguno en el caso del SO<sub>2</sub>. Utilizando los valores sin imputar, es decir, los directamente registrados, esto ocurrió, por lo menos en una de las estaciones, en el 1,9% y 3,3% de los días.

En el análisis simple de todo el período los riesgos relativos de ambos contaminantes en las cuatro causas de muerte y en los seis días considerados uno a uno (actual y cinco retardos) fueron siempre positivos, y estadísticamente significativos (P<0,05) en 41 de los 48 calculados (2 × 4 × 6 = 48 coeficientes, datos no mostrados).

Una vez determinado el modelo basal multivariante y los términos autorregresivos para cada causa de muerte, los riesgos relativos ajustados con mayor significación estadística fueron los que pueden verse en la tabla 2. Un incremento de 10µg/m<sup>3</sup> en la concentración diaria de humos negros supuso un aumento de un 3,5% en las defunciones por causas del aparato circulatorio. En las otras causas de muerte no se ha observado una relación estadísticamente significativa con este contaminante. En el caso del SO<sub>2</sub> cobra importancia el análisis por semestres, el cual permitió detectar un efecto en todas las causas de

muerte estudiadas en el semestre frío exclusivamente. El incremento en las defunciones asociado con un aumento del 10 µg/m<sup>3</sup> en este semestre se situó entre un 4,3% (1,0-7,7) para la mortalidad total y un 10,4% (0,9-20,9) para las causas por enfermedades del aparato respiratorio.

El estudio de los semestres por separado, en lo que hemos denominado una perspectiva dinámica, observó que los coeficientes de los humos negros no mostraron diferencias sustantivas en uno u otro semestre, excepto los retardos 3 y 4 de las causas respiratorias, que se presentaron divergentes, positivos en el semestre frío y negativos en el cálido (no obstante sin significación estadística). No ocurrió lo mismo en el caso del SO<sub>2</sub>, cuyos coeficientes fueron siempre positivos en el semestre frío y prácticamente cero en el cálido. Merece ser destacado el patrón visto en el caso de SO<sub>2</sub> y mortalidad por causas respiratorias en el semestre frío (figura 1), donde se aprecia bastante consistencia con un efecto entre los retardos 1 y 4. Es importante señalar que ninguno de los coeficientes negativos tuvieron significación estadística.

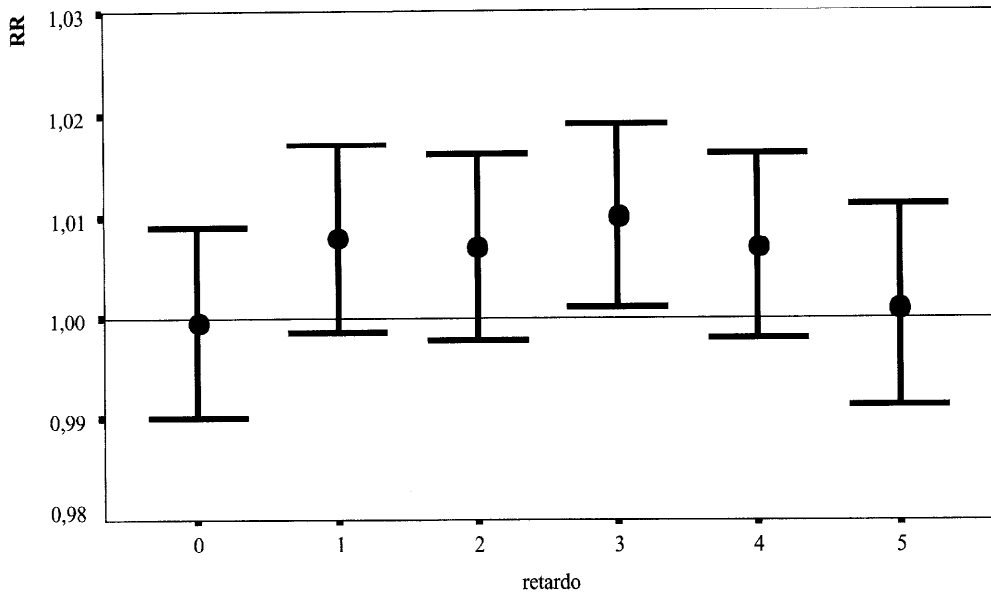
La figura 2 muestra los riesgos relativos ajustados para un incremento del percentil 10 al percentil 90 de ambos contaminantes

**Tabla 2**  
Riesgos relativos ajustados (e intervalo de confianza 95%) de la mortalidad por incremento de 10 µg/m<sup>3</sup> de cada contaminante

Contaminante	Retardo	Mortalidad total	Retardo	Mortalidad ≥ 70 años	Retardo	Aparato circulatorio	Retardo	Aparato respiratorio
<b>Humos negros</b>								
Todo el año	2	1,0151 (0,9950-1,0356)	2	1,0183 (0,9950-1,0421)	2	1,0348 (1,0050-1,0655)	4	1,0364 (0,9743-1,1024)
Semestre frío	2	1,0142 (0,9921-1,0367)	2	1,0172 (0,9916-1,0434)	2	1,0321 (1,0000-1,0652)	4	1,0494 (0,9846-1,1184)
Semestre cálido	2	1,0171 (0,9728-1,0633)	2	1,0230 (0,9714-1,0773)	2	1,0449 (0,9785-1,1158)	3	0,9386 (0,7919-1,1125)
<b>SO<sub>2</sub></b>								
Todo el año	4	1,0252 (1,0031-1,0477)	4	1,0203 (0,9945-1,0469)	1	1,0360 (1,0027-1,0705)	4	1,0478 (0,9781-1,1224)
Semestre frío	4	1,0428 (1,0096-1,0771)	4	1,0452 (1,0066-1,0853)	1	1,0735 (1,0252-1,1241)	3	1,1042 (1,0086-1,2089)
Semestre cálido	4	1,0091 (0,9787-1,0405)	3	0,9879 (0,9518-1,0254)	4	0,9782 (0,9321-1,0259)	1	0,9151 (0,8152-1,0273)

Figura 1

Riesgos relativos (RR) ajustados e intervalo de confianza 95% de la exposición a SO<sub>2</sub> en cada uno de los retardos estudiados (mismo día hasta el 5.º retardo), para la mortalidad por causas respiratorias en el semestre frío.



en los distintos períodos. Los valores en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de los percentiles de humos negros fueron: todo el período 33,9; semestre frío 42,7 y semestre cálido 20,3; para SO<sub>2</sub>, por el mismo orden fueron: 30,2, 30,5 y 29,0.

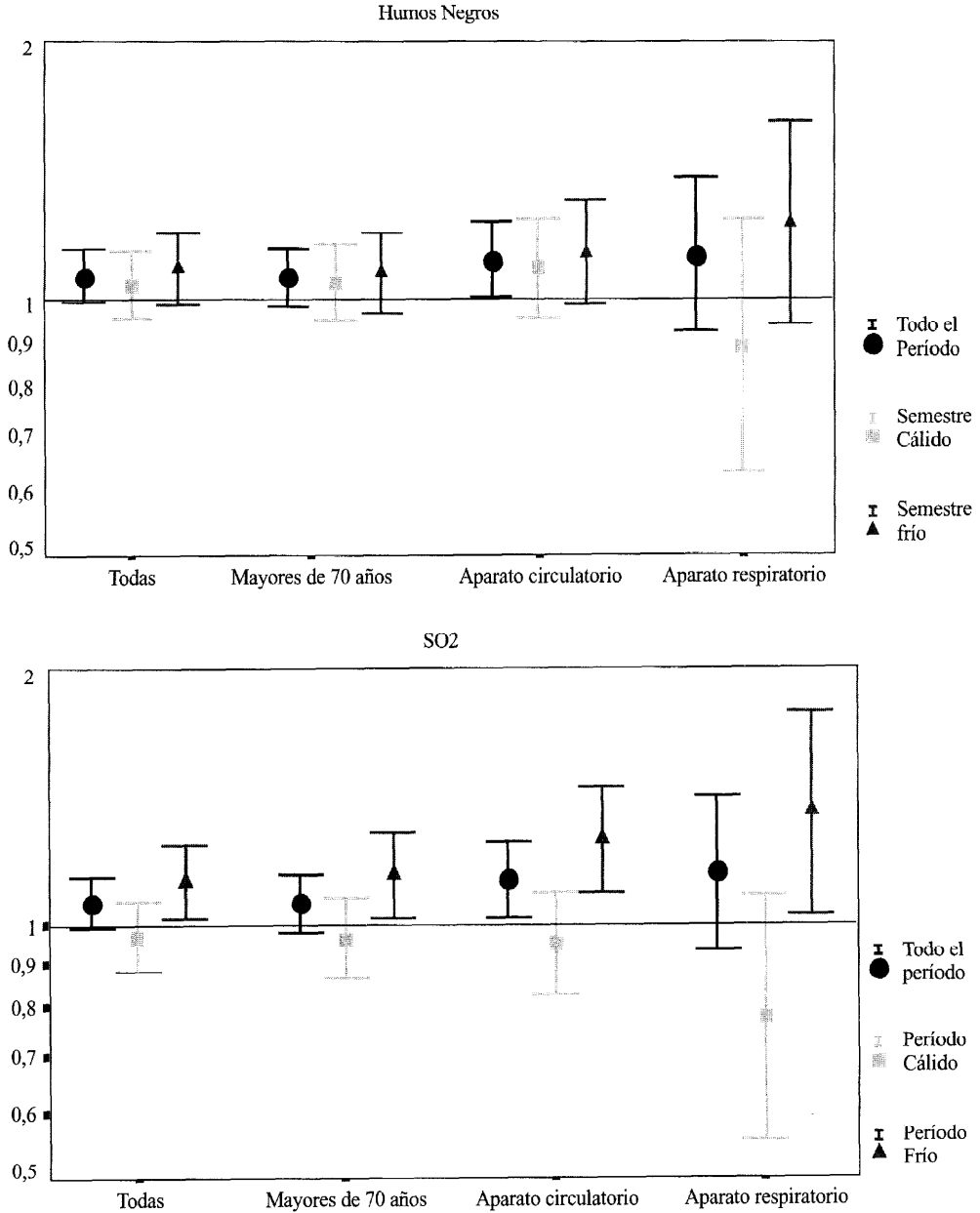
Todos los coeficientes en el análisis simple fueron positivos. La incorporación de las covariables mostró que muchos estaban sobreestimados antes del ajuste (datos no mostrados), pero no condujo a asociaciones negativas con significación estadística. Y, en fin, el análisis por semestres reveló una intensa interacción en el caso del SO<sub>2</sub>, de manera consistente en todas las causas y en bastantes retardos.

## CONCLUSIONES

Podemos concluir que en Castellón la contaminación atmosférica por humos negros y SO<sub>2</sub> aparece relacionada con algunas de las causas de muerte estudiadas. Las muertes por causas del aparato circulatorio, estuvieron asociadas con el aumento de los humos negros. En el caso del SO<sub>2</sub> hemos encontrado una asociación también en todo el período, pero exclusivamente en el semestre frío cuando se distinguió entre semestres. Además, esta asociación se observó desde el primer retardo hasta el cuarto de manera consistente en la mortalidad por enfermedades de los aparatos circulatorio y respiratorio.

Figura 2

Riesgos relativos ajustados e intervalo de confianza 95% para un incremento del percentil 10 al percentil 90 de cada contaminante (ver en el texto las magnitudes) en cada una de las causas de muerte, para todo el período y para los semestres frío y cálido.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Ballester Díez F, Sáez Zafra M, Alonso Fustel ME, Taracido Trunk M, Ordóñez Iriarte JM, Aguinaga Ontoso I et al. 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. Katsouyanni K, Zmirou D, Spix C, Sunyer J, Schoute JP, Pónka A et al. Short-term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiological time-series data. *Eur Respir J* 1995;8:1030-8.
3. Díaz Gómez JR, Andreu Mateu C, Aicart Bort MD, Felis Daudí C, Herrero Cucó L, Hueso Juliá E. Niveles de contaminación del aire, factores meteorológicos e ingresos por enfermedad pulmonar obstructiva crónica: Castellón 1992-93. III Congreso de la Sociedad Valenciana de Neumología. Morella 29 y 30 de Marzo 1996. Resumen de Comunicaciones.
4. Pérez Hoyos S, Sáez Zafra M, Barceló Rado MA, Cambra K, Guillén Grima F, Bellido Blasco J, et al. Protocolo EMECAM: Análisis del efecto a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad. *Rev Esp Salud Pública* 1999; 73:177-185.