

Morbilidad infantil por causas respiratorias y su relación con la contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua, México

Leticia Hernández-Cadena, DC,⁽¹⁾ Albino Barraza-Villarreal, MC,⁽¹⁾
Matiana Ramírez-Aguilar, DC,⁽¹⁾ Hortencia Moreno-Macías, MC,⁽¹⁾ Paul Miller, PhD,⁽²⁾
Luz Aurora Carbajal-Arroyo, MC,⁽³⁾ Isabelle Romieu, DC.⁽¹⁾

Hernández-Cadena L, Barraza-Villarreal A, Ramírez-Aguilar M, Moreno-Macías H, Miller P, Carbajal-Arroyo LA, Romieu I. Morbilidad infantil por causas respiratorias y su relación con la contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *Salud Publica Mex* 2007;49:27-36.

Hernández-Cadena L, Barraza-Villarreal A, Ramírez-Aguilar M, Moreno-Macías H, Miller P, Carbajal-Arroyo LA, Romieu I. Infant morbidity caused by respiratory diseases and its relation with the air pollution in Juarez City, Chihuahua, Mexico. *Salud Publica Mex* 2007;49:27-36.

Resumen

Objetivo. Evaluar el impacto de los contaminantes atmosféricos sobre la salud respiratoria de la población infantil de Ciudad Juárez, Chihuahua, México, considerando diferentes grupos etáreos. **Material y métodos.** Se obtuvieron datos sobre consultas a urgencias de hospitales por afecciones de vías respiratorias altas, bajas y asma, en unidades del IMSS, de niños menores de 17 años de edad entre 1997 y 2001, y se estratificó por grupos etáreos (≤ 5 años y > 5 años). Se obtuvieron datos diarios sobre contaminantes aéreos (Ozono y PM_{10}) y condiciones meteorológicas de la Red de Monitoreo en Ciudad Juárez. Para el análisis estadístico de los datos, se utilizó un Modelo Aditivo Generalizado, asumiendo una distribución de Poisson. **Resultados.** Las concentraciones de ozono, pero no de PM_{10} , se asociaron significativamente con las consultas a urgencias por afecciones respiratorias, principalmente en niños de 5 años o menores. En este grupo, un incremento de 20 ppb en 1 hr máxima de ozono se asociaron con un incremento de 8.3% en las consultas por afecciones de vías respiratorias superiores, con un retraso en la exposición de tres días, y un incremento de 12.7% en las consultas por infecciones de las vías respiratorias inferiores cuando se consideró un retraso de cuatro días en la exposición en el promedio móvil máximo de ocho horas. El efecto mayor para la muestra total, al igual que para el grupo de niños de

Abstract

Objective: To assess the impact of atmospheric pollutants on the respiratory health of children of different age groups in Juarez City, Chihuahua, Mexico. **Material and Methods:** Data on emergency room visits between 1997 and 2001 for respiratory diseases in children less than 17 years old were obtained from hospitals in the Juarez City belonging to the Mexican Social Security Institute (IMSS). Diseases were classified into three groups according to ICD 9th and 10th codes: a) upper respiratory diseases, b) lower respiratory diseases, and c) asthma attacks. This information was stratified by age group (≤ 5 years and > 5 years). Daily air pollution data (ozone and PM_{10}) and weather conditions were obtained from the Monitoring Network System in Juarez City. Statistical analysis was carried out using a Generalized Additive Model assuming a Poisson distribution. **Results:** Ozone concentrations, but not PM_{10} , were statistically associated with emergency room visits for respiratory diseases, mainly among children 5 years old or younger. In this group, an increase of 20 ppb 1-hr maximum for ozone was associated with an increase of 8.3% in the number of emergency room visits for upper respiratory diseases, with a 3-day exposure lag; and an increase of 12.7% in the number of emergency room visits for lower respiratory diseases when considering a 4-day exposure lag in a maximum 8-hr mobile average. The largest effect for the complete sample and for

(1) Instituto Nacional de Salud Pública. Cuernavaca, Morelos, México.

(2) The Commission for Environmental Cooperation. Montreal, Quebec, Canadá.

(3) Universidad Cayetano Heredia. Lima, Perú.

Fecha de recibido: 2 de diciembre de 2005 • Fecha de aceptado: 25 de agosto de 2006

Solicitud de sobretiros: Mtra. Leticia Hernández Cadena. Instituto Nacional de Salud Pública. 7ª Cerrada de Fray Pedro de Gante 50, col. Sección XVI. 14100 Delegación Tlalpan, México, DF.

Correo electrónico: lhcadena@correo.insp.mx

6 a 16 años, se observó en el retraso de tres días (5.1% para un aumento de 20 ppb en un máximo de una hora). Para este grupo no se observó un efecto significativo entre los niveles ambientales de ozono y el riesgo de contraer enfermedades de las vías respiratorias inferiores. **Conclusión.** La amplitud del riesgo es de suma importancia, ya que puede representar un incremento en los costos de atención en el sistema de salud y la sociedad en general. Nuestros resultados destacan la necesidad de instrumentar acciones preventivas y de control de la contaminación atmosférica para evitar que empeore la situación actual.

Palabras clave: morbilidad; infante; enfermedades respiratorias; Cd. Juárez

the group 6 to 16 years of age was observed for 3-day lag (5.1% for an increase of 20 ppb 1-hr maximum for ozone). For the 6 to 16 year old group we did not find a significant effect. **Conclusion:** The wide range of risk is quite important and might represent a substantial cost for the health system as well as for the society. Our results emphasize the need to implement preventive and control measures for air pollution and avoid the worsening of the present situation.

Key words: morbidity; infant; respiratory disease; Cd. Juárez

Los resultados de varios estudios realizados en América Latina han demostrado los efectos adversos de la contaminación atmosférica sobre la salud en diferentes grupos étnicos.¹ Se han encontrado asociaciones significativas entre los efectos agudos de las enfermedades respiratorias de la población en general y la exposición a contaminantes, debido a condiciones meteorológicas; sin embargo, son pocos los estudios que se han enfocado en los niños pequeños, un sector de la población con mayor susceptibilidad a las amenazas ambientales, en virtud de sus actividades y comportamiento, así como de su reducida capacidad para metabolizar las sustancias tóxicas.²

Ciudad Juárez, Chihuahua, es una de las ciudades más importantes de la frontera México-Estados Unidos. La población total suma alrededor de un millón de habitantes. Una de las principales características de esta ciudad es el flujo migratorio que cruza la frontera, sobre todo, debido a la creciente industria de las maquiladoras. Entre 1950 y 1990, la población se sextuplicó.³ Este desarrollo sin planificación ha ocasionado que una gran parte de la población viva en condiciones de pobreza.

De acuerdo con el Instituto Municipal de Planeación e Investigación, para el año de 1997 había en total 3 069 kilómetros de calles en la ciudad, de las cuales solo 50% estaban pavimentadas y, de éstas, varias estaban deterioradas y en muchos casos inconclusas.⁴ Aunado a esto, el crecimiento del parque vehicular, así como la utilización y circulación de vehículos en mal estado, han provocado la degradación de la calidad del aire. Cabe destacar que los vehículos constituyen una de las principales fuentes de contaminación en dicha ciudad, ya que según el inventario de emisiones, 84% del total de contaminantes emitidos a la atmósfera provienen de fuentes móviles.³

En la presente investigación se evaluó el impacto de los contaminantes atmosféricos sobre la salud respiratoria de la población infantil, considerando diferentes grupos étnicos y con un enfoque en el riesgo de enfermedades respiratorias por la exposición a niveles de contaminantes atmosféricos de partículas menores a 10 μm (PM_{10}) y ozono (O_3).

Material y métodos

La población base estuvo conformada por niños recién nacidos y de 1 a 16 años de edad, residentes de Ciudad Juárez, derechohabientes del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). Los datos se obtuvieron a partir de los reportes de dos unidades de segundo nivel de atención de la región del estudio. Estas unidades atienden aproximadamente 70% de la población y cuentan con servicio de urgencias. Se consideró el número total de consultas de primera vez por alguna enfermedad respiratoria aguda y asma entre niños de la edad seleccionada que acudieron al servicio de urgencias de los dos hospitales de referencia, durante el periodo comprendido entre el 1 julio de 1997 y el 31 de diciembre del 2001. Los casos fueron identificados de acuerdo con el diagnóstico médico consignado en los registros de ingresos de urgencias (hojas 4-30-6). Para cada caso se obtuvo fecha y turno (matutino/vespertino) en que fue solicitada la consulta, información sobre el tipo de consulta (primera vez o subsiguiente), edad del paciente y diagnóstico principal. Sin embargo, debido a que el IMSS no mantiene un respaldo electrónico por un periodo mayor a seis meses, no fue posible tener acceso a parte de la información que ya había sido eliminada del sistema (aproximadamente 10% de la información), aunque se recuperaron datos de los registros escritos

archivados, los cuales fueron capturados de la misma manera que se hace por las unidades médicas.

Los casos se seleccionaron de acuerdo con la Clasificación Internacional de Enfermedades, utilizando la novena revisión (CIE-9)⁵ para los datos registrados en las fechas de julio a octubre de 1997 y la décima revisión (CIE-10)⁶ para datos registrados de noviembre de 1997 a diciembre de 2001. Las consultas por padecimientos respiratorios se clasificaron en tres grupos: a) afecciones de vías respiratorias altas (CIE-9: 460, CIE-10: J06.9); sinusitis aguda (CIE-9: 461, CIE-10: J01.9); faringitis aguda (CIE-9: 462, CIE-10: J02.9); laringitis, traqueítis (CIE-9: 464, CIE-10: J04x y CIE-10: J06.0), y tos (CIE-9: 463); b) afecciones de vías respiratorias bajas como neumonía, bronquitis aguda (CIE-9: 466, 480-487-496 CIE-10 J12, J18, J20-J21), y c) asma (CIE-9: 493, CIE-10: J45). Se estratificó cada tipo de padecimiento por grupo etéreo (≤ 5 años y > 5 años). Para asegurar la calidad de los datos de salud, se tomó una muestra de los registros de ingreso disponibles y se midió la concordancia con los datos capturados, de tal forma que pudiera detectarse algún error en la captura.

Datos meteorológicos y de contaminación del aire

Los datos de contaminantes aéreos y condiciones meteorológicas fueron proporcionados por la Red de Monitoreo Atmosférico de Ciudad Juárez. Este sistema cuenta con cinco estaciones de monitoreo fijas distribuidas en toda la ciudad. La calidad de esta información se audita de acuerdo con el programa nacional instrumentado por el Instituto Nacional de Ecología (INE). Todas las estaciones miden la concentración de PM_{10} cada seis días y tres estaciones se encargan de medir el ozono diariamente. A partir de estas estaciones, se obtuvieron variables climatológicas y meteorológicas (temperatura, humedad relativa y dirección del viento). Asimismo, se consiguió información sobre contaminación atmosférica en tres estaciones de monitoreo ubicadas en El Paso, Texas, ciudad colindante con Ciudad Juárez en la frontera entre México y Estados Unidos. Dos de ellas miden las concentraciones de PM_{10} diariamente y una, el O_3 , el NO_2 , el SO_2 y la temperatura.

Como los niveles de PM_{10} sólo se miden cada seis días en Ciudad Juárez, se determinó un promedio diario de niveles de PM_{10} para toda la capa atmosférica de El Paso y Ciudad Juárez. Los análisis de correlación demostraron que hay importantes vínculos entre los datos de un monitor a otro ($r = 0.72$). En la figura 1 se presenta un mapa de Ciudad Juárez con la ubicación

de las estaciones de monitoreo de ambas ciudades, así como de los hospitales del IMSS.

El protocolo de esta investigación fue revisado y aceptado por el comité de ética del Instituto Nacional de Salud Pública y del IMSS en Ciudad Juárez, Chihuahua.

Análisis estadístico

Se calcularon los índices de exposición para cada contaminante, considerando el promedio de 24 horas para PM_{10} , el promedio móvil máximo de ocho horas y el nivel máximo de una hora de ozono, así como mínimo y máximo diario de temperatura y humedad relativa. Se generaron además los promedios anuales de PM_{10} , ozono, temperatura y humedad relativa. Se construyeron variables con 1 a 4 días de retraso (lags) de las concentraciones de PM_{10} y O_3 , además de variables con promedios acumulados de entre 3, 5 y 7 días anteriores, con el objetivo de estudiar diferentes patrones de asociación entre el número de consultas y la exposición ambiental. Para las variables meteorológicas se construyeron también variables con un día de retraso. Se llevó a cabo un análisis descriptivo para los datos sobre contaminación atmosférica, variables climatológicas y salud, mediante gráficas de series cronológicas y distribución de frecuencia de los datos primarios para fines de control de calidad. Esto también permitió verificar la presencia de valores distantes extremos o datos faltantes y cambios repentinos en la variación diaria de las series, todo lo cual es indicio de posibles errores. Se generó una variable indicadora para diferenciar los días de fin de semana de los restantes, y otra referida al año de estudio para controlar los efectos a largo plazo; además, se generó una variable categórica para meses fríos (noviembre-marzo) y para meses cálidos (abril-octubre).

Para modelar la relación entre el número diario de consultas de urgencia por causas respiratorias (variable respuesta) con los niveles de contaminación (exposición) se utilizó un Modelo Aditivo Generalizado (MAG)⁷ utilizando liga lambda (λ) y familia Poisson, y se incluyó como referencia el número total de consultas de urgencia por cualquier causa, para controlar el recorrido de la variable de conteo. Con el objetivo de remover el efecto del tiempo, de la temperatura mínima y el máximo de la humedad relativa, en cada modelo se incluyeron funciones suavizadas para estas variables, usando el método de "spline" con un span de 0.01. Este modelo ofrece mayor flexibilidad para elaborar un modelo de contaminación atmosférica, dado que admite reemplazar las variables predictivas

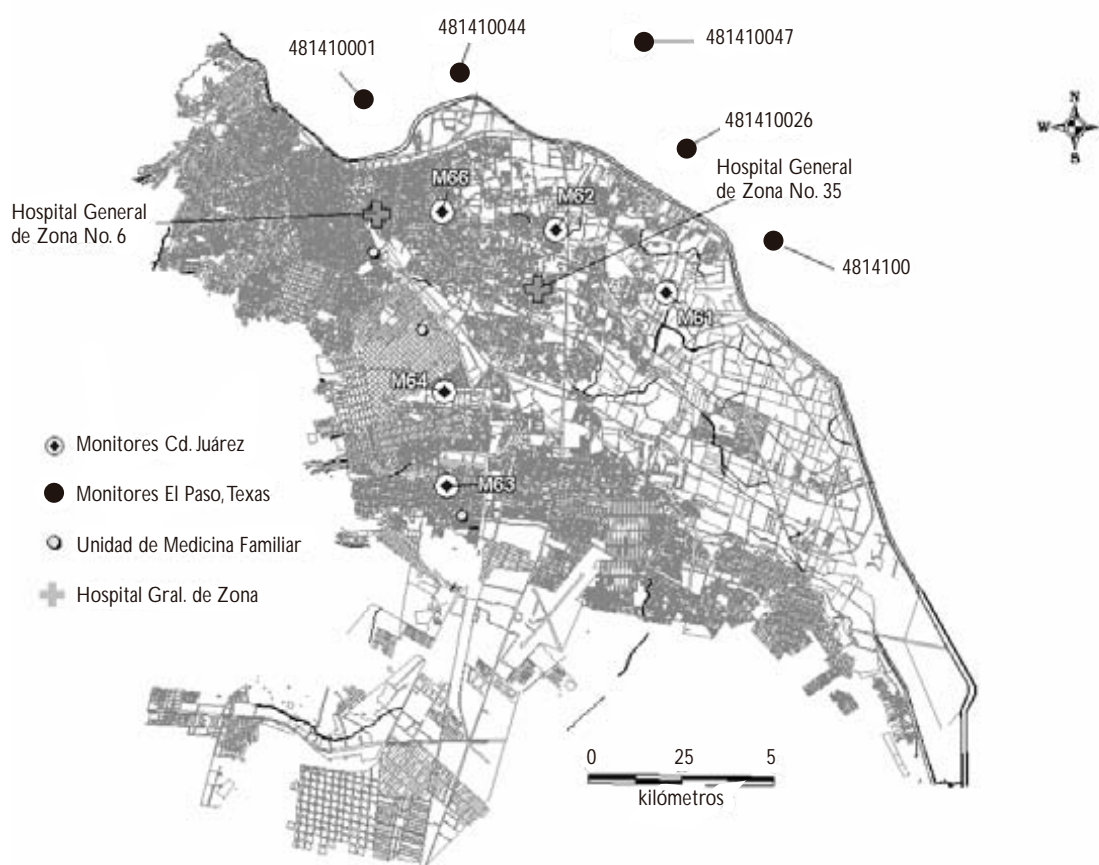


FIGURA 1. UNIDADES DEL IMSS Y SITIOS DE MONITOREO FIJO EN EL ÁREA DE ESTUDIO, CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA,

lineales ($\eta = \sum_j \beta_j x_j$) por una forma no lineal ($\eta = \sum_j f_j(x_j)$), donde $f_j(x_j)$ son funciones no paramétricas y no especificadas. Este tipo de modelos se ha usado ampliamente en los análisis de series cronológicas en la relación entre la contaminación atmosférica y salud.⁷ Además de las funciones de ajuste no paramétricas, el modelo se ajustó por día de la semana y días de fin de semana, así como estación y año del estudio.

Se evaluó la asociación entre las consultas a urgencias con cada contaminante, ozono y PM_{10} , con cada uno de los periodos de retraso (uno a cuatro días) y con cada uno de los promedios acumulados (tres, cinco y siete días antes del evento). Asimismo, se evaluó el efecto de dos contaminantes, ozono y PM_{10} , simultáneamente, en el mismo modelo. Para los análisis se usaron como variables respuesta: total de consultas de urgencia relacionadas con causas respiratorias y separadamente para consultas de urgencia por enfermedades de las vías respiratorias superiores, enfermedades de

las vías respiratorias inferiores y asma. El análisis también se estratificó por grupo etéreo (≤ 5 años y > 5 a 16 años).

Los resultados obtenidos (riesgos relativos en las consultas) se calcularon para un incremento de 20 unidades de la variable de exposición y se interpretaron en términos porcentuales. El análisis de la información se desarrolló utilizando los paquetes Stata versión 8.0 y S-PLUS.

Resultados

Del total de consultas al servicio de urgencias (78 330) en el periodo de cinco años, 57% se debió a causas respiratorias. Del total de consultas por causas respiratorias, el motivo más importante de consultas fue por infección de las vías respiratorias superiores, con un porcentaje de 64%. En el cuadro I se presenta información descriptiva sobre las consultas en el servicio de

Cuadro I
CONSULTAS DE URGENCIA POR ENFERMEDADES
RESPIRATORIAS, POR GRUPO ETÁREO Y DIAGNÓSTICO
EN LOS HOSPITALES 6 Y 35 DEL IMSS, CIUDAD JUÁREZ,
CHIHUAHUA, JULIO DE 1997-DICIEMBRE DE 2001

Grupo etáreo	Media (%)				Total
	Infección de las vías respiratorias superiores	Infección de las vías respiratorias inferiores	Asma		
< 1 año	8 578 (30.14)	5 389 (47.07)	659 (13.76)	14 626	(32.72)
1-5 años	13 858 (48.69)	5 219 (45.59)	2 384 (49.77)	21 461	(48.01)
> 5 años	6 025 (21.17)	840 (7.34)	1 747 (36.47)	8 612	(19.27)
Total	28 461 (100.00)	11 448 (100.00)	4 790 (100.00)	44 699	(100.00)

Nota: El total de consultas por todas las causas durante el periodo de estudio fue de 78 330 y, de éstas, 44 699 consultas (57.06%) correspondieron a enfermedades respiratorias.

urgencias de niños menores de 16 años. Las consultas por infecciones de vías respiratorias superiores y asma fueron más frecuentes en niños menores de 5 años de edad, principalmente entre los de 1-5 años (48.7% y 49.77% respectivamente), mientras que las infecciones de vías respiratorias inferiores fueron más frecuentes en niños menores de un año (47%). El grupo menos susceptible, en general, fue el de mayores a 5 años, aunque, en el caso de asma, la menor proporción de consultas fue en niños menores de un año.

En cuanto al comportamiento en las concentraciones de los contaminantes, se observó un incremento en el promedio de 24 horas de PM_{10} entre 1997 y 2001 en la mayoría de las estaciones de monitoreo de Ciudad Juárez, excepto en una. Los mayores incrementos se observaron en dos estaciones que se ubican en el sur de la ciudad, con promedios anuales de PM_{10} superiores a la norma de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Los niveles de PM_{10} rebasaron el límite permisible de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en 24 horas en 13 ocasiones durante el periodo de estudio. Las estadísticas descriptivas mostraron que los promedios anuales de niveles de PM_{10} fueron mayores en Ciudad Juárez que en El Paso. En el cuadro II se muestran los niveles promedio anuales de PM_{10} y O_3 , así como las variables climáticas de Ciudad Juárez y El Paso.

Los datos sobre ozono se obtuvieron en tres estaciones de monitoreo en Ciudad Juárez y los niveles se distribuyeron uniformemente en toda la ciudad. Sólo rebasaron la norma en unas cuantas ocasiones (1 a 16 días), principalmente durante los años 1999 y 2000. En el cuadro II se presentan los datos descriptivos de las concentraciones ambientales de PM_{10} y ozono durante el periodo del estudio en Ciudad Juárez y El Paso, además del promedio anual de temperatura mínima y humedad relativa durante el periodo del estudio. El ozono se relacionó positivamente con la temperatura mínima ($r = 0.46$, $p < 0.05$), mientras que las concentraciones de PM_{10} no se relacionaron con la temperatura. Cuando se evaluó la correlación entre ozono y partículas, ésta fue casi nula ($r = 0.001$, $p > 0.1$). En el cuadro

Cuadro II
PROMEDIO ANUAL (DESVIACIÓN ESTÁNDAR) DE LOS NIVELES DE PM_{10} , OZONO Y VARIABLES METEOROLÓGICAS
POR AÑO DEL ESTUDIO DE TODAS LAS ESTACIONES DE MONITOREO, CIUDAD JUÁREZ Y EL PASO,
JULIO DE 1997-DICIEMBRE DE 2001

	Media (DE)				
	1997	1998	1999	2000	2001
PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Promedio de 24 hrs.	33.04 (20.67)	35.25 (17.32)	43.20 (29.31)*†	42.99 (22.52)*†	39.10 (28.71)*
Ozono (ppb) Máximo diario de una hora	43.43 (19.57)	51.36 (19.81)*	55.12 (20.72)*	52.87 (20.35)*	54.4 (18.26)*
Variables Meteorológicas					
Temperatura mínima (°C)	18.77 (8.63)	14.44 (6.49)	15.08 (6.18)	15.97 (6.27)	15.82 (6.74)
Humedad relativa (%)	50.68 (17.48)	65.52 (21.59)	59.96 (24.94)	57.66 (23.05)	70.83 (22.02)
Número de días sobre $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10}	1	0	5	1	6
Número de días sobre $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10}	45	52	102	84	56
Número de días sobre 110 ppb de Ozono	1	1	5	6	1

* Diferencias estadísticamente significativas, comparando los niveles de contaminación del año respectivo contra los de 1997 ($p < 0.001$)

† Diferencias estadísticamente significativas, comparando los niveles de contaminación del año respectivo contra los de 1998 ($p < 0.001$)

III A se presenta la relación entre los niveles ambientales de ozono (máximo diario de una hora y máximo del promedio móvil diario de ocho horas) y las consultas de urgencia por causas respiratorias para todos los niños (0-16 años); se consideró la exposición con cuatro días de retraso (1, 2, 3 y 4) y promedios acumulados de ozono de tres, cinco y siete días antes de la consulta. Los coeficientes se multiplicaron por 20 ppb, correspondientes al intervalo entre cuartiles de los niveles de ozono durante el estudio.

Cada uno de los índices de exposición al ozono se relacionó significativamente con el riesgo de consultas de urgencia por el total de causas respiratorias, y se observó un mayor efecto en el promedio de ocho horas con un día de retraso (6.2%; IC95% 2.1%-10.4) y en el retraso de tres días (5.1%; IC95% 2.1-8.5% para un aumento de 20 ppb en un máximo de una hora). Considerando la exposición acumulada, el mayor efecto para el total de consultas por causa respiratoria se observó con un aumento de 20 ppb en niveles máximos de ozono de una hora durante siete días (15%; IC95% 6.4%-24%). Se observaron resultados similares cuando se consideraron diagnósticos específicos para

infecciones de las vías respiratorias superiores, y no se observó un efecto significativo de los niveles ambientales de ozono en el riesgo de contraer enfermedades de las vías respiratorias inferiores. En cambio, los niveles ambientales de ozono se relacionaron con las consultas de urgencia por asma. El mayor efecto se observó para un día de retraso para el máximo de una hora y para dos días de retraso en el promedio de ocho horas (aumento de riesgo de 8.3%; IC95% 3.8-13.1%, 12.7%; 4.2-21.9% respectivamente) y con un aumento de los niveles de ozono durante varios días (aumento de 27.1%; IC95% 15.3-40.2% para un aumento de 20 ppb en un máximo de una hora, durante siete días antes de la consulta por asma).

En el cuadro III B se presentan los resultados de la relación entre los niveles ambientales de ozono y las consultas de urgencia por causas respiratorias en niños de cinco años o menores. En lo que respecta a la muestra total de niños, los niveles de ozono se relacionaron con el total de consultas de urgencia por causas respiratorias, por infección de las vías respiratorias superiores y asma. El aumento de riesgo para niños de cinco años o menores fue generalmente mayor que en

Cuadro III A
RELACIÓN ENTRE LAS CONSULTAS DE URGENCIA POR CAUSAS RESPIRATORIAS Y LOS NIVELES AMBIENTALES DE OZONO (MÁXIMO DIARIO DE 1 HR. Y PROMEDIO MÁXIMO DIARIO DE 8 HORAS) EN NIÑOS DE 0-16 AÑOS. CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA, JULIO DE 1997-DICIEMBRE DE 2001

Contaminante	Total		Infecciones de las vías respiratorias superiores		Infecciones de las vías respiratorias inferiores		Asma	
	RR	IC95%	RR	IC95%	RR	IC95%	RR	IC95%
O ₃ 1hr máx desfase 1	1.04	1.009-1.074	1.041	1.005-1.078	0.980	0.928-1.035	1.083	1.038-1.131
O ₃ 8pm desfase 1	1.062	1.021-1.104	1.085	1.027-1.147	0.905	0.840-0.975	1.212	0.553-2.654
O ₃ 1hr máx desfase 2	1.020	0.989-1.053	1.024	0.989-1.061	0.972	0.920-1.027	1.066	1.021-1.113
O ₃ 8pm desfase 2	1.062	1.021-1.104	1.014	0.960-1.071	0.921	0.855-0.993	1.127	1.042-1.219
O ₃ 1hr máx desfase 3	1.051	1.021-1.085	1.062	1.025-1.100	1.008	0.954-1.065	1.051	1.003-1.102
O ₃ 8pm desfase 3	1.041	1.001-1.082	1.060	1.003-1.119	0.942	0.871-1.019	1.103	1.020-1.193
O ₃ 1hr máx desfase 4	1.012	0.981-1.044	1.010	0.975-1.046	0.998	0.948-1.050	1.030	0.983-1.080
O ₃ 8pm desfase 4	1.018	0.979-1.059	1.016	0.962-1.073	0.990	0.919-1.067	1.090	1.008-1.179
O ₃ 1hr máx ac3d	1.083	1.042-1.127	1.116	1.061-1.175	0.963	0.887-1.045	1.174	1.094-1.259
O ₃ 8pm ac3d	1.062	0.982-1.148	1.099	1.024-1.179	0.852	0.773-0.940	1.284	1.164-1.416
O ₃ 1hr máx ac5d	1.127	1.042-1.219	1.150	1.080-1.225	1.016	0.925-1.116	1.246	1.143-1.358
O ₃ 8pm ac5d	1.105	1.022-1.195	1.127	1.038-1.224	0.936	0.839-1.045	1.350	1.205-1.512
O ₃ 1hr máx ac7d	1.15	1.064-1.244	1.174	1.094-1.259	0.949	0.854-1.055	1.271	1.153-1.402
O ₃ 8pm ac7d	1.127	1.042-1.219	1.217	1.116-1.326	0.847	0.753-0.953	1.297	1.153-1.459

Cada renglón indica un modelo separado. Todos los modelos fueron ajustados por temperatura, humedad y tiempo, día de la semana y días de fin de semana, así como estación y año del estudio

O₃ 1hr máx: máximo diario de 1 hora

O₃ 8pm: promedio móvil máximo diario de 8 horas

O₃ ac3, 5, 7: acumulado de 3 o hasta 7 días

RR= riesgo relativo

IC95%= intervalos de confianza de 95%

Cuadro III B

RELACIÓN ENTRE LAS CONSULTAS DE URGENCIA POR CAUSAS RESPIRATORIAS Y LOS NIVELES AMBIENTALES DE OZONO (MÁXIMO DIARIO DE 1 HR. Y PROMEDIO MÁXIMO DIARIO DE 8 HORAS) EN NIÑOS DE CINCO AÑOS O MENORES. CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA, JULIO DE 1997-DICIEMBRE DE 2001

Contaminante	Total de enfermedades respiratorias		Infecciones de las vías respiratorias superiores		Infecciones de las vías respiratorias inferiores		Asma	
	RR	IC95%	RR	IC95%	RR	IC95%	RR	IC95%
O ₃ 1hr máx desfase 1	1.026	0.979-1.076	1.041	1.001-1.082	0.988	0.914-1.069	1.105	1.022-1.195
O ₃ 8pm desfase 1	1.018	0.949-1.093	1.083	1.002-1.172	0.905	0.820-0.998	1.083	0.926-1.267
O ₃ 1hr máx desfase 2	1.030	0.983-1.080	1.041	1.001-1.082	1.008	0.939-1.082	1.062	0.982-1.148
O ₃ 8pm desfase 2	1.014	0.949-1.084	1.020	0.943-1.103	1.002	0.891-1.127	1.127	0.964-1.319
O ₃ 1hr máx desfase 3	1.062	1.021-1.104	1.083	1.042-1.127	1.062	0.982-1.148	1.083	1.002-1.172
O ₃ 8pm desfase 3	1.041	0.970-1.117	1.062	0.982-1.148	1.006	0.909-1.114	1.127	0.964-1.319
O ₃ 1hr máx desfase 4	1.041	1.001-1.082	1.041	1.001-1.082	1.049	0.970-1.135	1.062	0.982-1.148
O ₃ 8pm desfase 4	1.083	1.002-1.172	1.062	0.982-1.148	1.127	1.042-1.219	1.127	0.964-1.319
O ₃ 1hr máx ac3d	1.099	1.024-1.179	1.127	1.042-1.219	1.016	0.903-1.143	1.221	1.086-1.374
O ₃ 8pm ac3d	1.026	0.934-1.128	1.083	0.963-1.218	0.887	0.758-1.037	1.323	1.088-1.610
O ₃ 1hr máx ac5d	1.174	1.085-1.269	1.197	1.107-1.295	1.150	1.023-1.294	1.433	1.225-1.677
O ₃ 8pm ac5d	1.174	1.043-1.320	1.197	1.064-1.347	1.127	0.964-1.319	1.584	1.252-2.004
O ₃ 1hr máx ac7d	1.197	1.107-1.295	1.221	1.086-1.374	1.041	0.890-1.218	1.462	1.202-1.779
O ₃ 8pm ac7d	1.221	1.086-1.374	1.323	1.176-1.488	0.994	0.817-1.209	1.616	1.277-2.045

Cada renglón indica un modelo separado. Todos los modelos fueron ajustados por temperatura, humedad y tiempo, día de la semana y días de fin de semana, así como estación y año del estudio

O₃ 1hr máx: máximo diario de 1 hora

O₃ 8pm: promedio móvil máximo diario de 8 horas

O₃ ac3, 5, 7: acumulado de 3 o hasta 7 días

RR= riesgo relativo. Se presentan para un aumento de 20 ppb de ozono en el promedio dado, que corresponde al intervalo entre cuartiles durante el periodo del estudio

IC95%= intervalos de confianza de 95%

la muestra total, aunque ésta no fue significativamente diferente. Un incremento de 20 ppb de ozono el día anterior ocasionó un incremento en las consultas a urgencias por afecciones de vías respiratorias superiores de 8.3% (IC95% 0.2-17.2%), considerando el promedio móvil máximo diario de ocho horas, y de 8.3% (rango 4.2-12.7%), considerando el máximo diario de una hora con tres días de desfase. El efecto debido a exposición acumulada se incrementó en orden al número de días previos (rango de 12.7-22%). De lo anterior, se deduce que este grupo de niños podría ser más susceptible al impacto del ozono. Además, hubo ciertos indicios de que los niveles ambientales de ozono se relacionaban positivamente con las infecciones de las vías respiratorias inferiores. Se observó que un incremento de 20 ppb en el promedio móvil máximo de ocho horas, cuatro días antes de la consulta, estaba relacionado con un aumento de 12.7% en el riesgo de infecciones de las vías respiratorias inferiores (IC95% 4.2-21.9%). Si consideramos un incremento de 20 ppb en un máximo de una hora diaria, durante cinco días acumulados antes

de la visita, el riesgo fue de 15% (IC95% 2.3-29.4%). En este grupo las consultas por asma se asociaron de manera más consistente, al tomar en cuenta la exposición acumulada a ozono.

Cuando se analizó la relación entre los niveles ambientales de ozono y las consultas de urgencia por causas respiratorias, en niños entre 6 y 16 años de edad, los resultados fueron muy similares a los observados en la muestra total, aunque menos consistentes; es decir al relacionar diferentes días de retrasos de exposición a contaminantes los riesgos relativos para las consultas variaban de ser significativos a no significativos o viceversa. Los niveles ambientales de ozono se relacionaron significativamente con las consultas de urgencia por infecciones de las vías respiratorias superiores y asma, principalmente con un día de desfase.

En los cuadros IV A y B se presentan los resultados de la asociación entre los niveles ambientales de PM₁₀ y las consultas de urgencia por causas respiratorias en todos los niños. Los riesgos relativos se presentan para un aumento de 20 µg/m³ en el promedio de

Cuadro IV A
RELACIÓN ENTRE LAS CONSULTAS DE URGENCIA POR CAUSAS RESPIRATORIAS Y LOS NIVELES AMBIENTALES
DE PM₁₀ (PROMEDIO DE 24 HORAS) EN NIÑOS DE 0-16 AÑOS. CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA,
JULIO DE 1997-DICIEMBRE DE 2001

Contaminante	Total de enfermedades respiratorias		Infecciones de las vías respiratorias superiores		Infecciones de las vías respiratorias inferiores		Asma	
	RR*	IC95%	RR	IC95%	RR	IC95%	RR	IC95%
PM ₁₀ desfase 1	1.00	.977-1.024	1.000	0.973-1.028	1.000	0.731-1.368	1.020	0.981-1.061
PM ₁₀ desfase 2	1.002	.979-1.026	1.006	0.979-1.034	0.990	0.696-1.409	1.014	0.987-1.042
PM ₁₀ desfase 3	1.004	.981-1.028	1.002	0.975-1.030	1.010	0.979-1.042	1.002	0.963-1.042
PM ₁₀ desfase 4	.996	.973-1.02	0.998	0.971-1.026	0.988	0.958-1.020	0.990	0.952-1.030
PM ₁₀ ac 3 d	1.006	.964-1.05	1.020	0.973-1.069	0.961	0.906-1.019	0.942	0.871-1.019
PM ₁₀ ac 5 d	1.018	.941-1.101	1.035	0.964-1.110	0.961	0.888-1.039	1.014	0.938-1.097
PM ₁₀ ac 7 d	1.020	.979-1.059	1.041	0.962-1.126	1.041	0.925-1.171	0.869	0.773-0.978

Cada renglón indica un modelo separado. Todos los modelos fueron ajustados por temperatura, humedad y tiempo, día de la semana y días de fin de semana, así como estación y año del estudio

PM₁₀ ac3, 5, 7 d: acumulado de 3 o hasta 7 días

RR= riesgo relativo. Se presentan para un aumento de 20 µg/m³ en el promedio de 24 horas, que corresponde al intervalo entre cuartiles durante el periodo del estudio

IC95%= intervalos de confianza de 95%

Cuadro IV B
RELACIÓN ENTRE LAS CONSULTAS DE URGENCIA POR CAUSAS RESPIRATORIAS Y LOS NIVELES AMBIENTALES
DE PM₁₀ (PROMEDIO DE 24 HORAS) EN LOS NIÑOS DE CINCO AÑOS O MENORES. CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA,
JULIO DE 1997-DICIEMBRE DE 2001

Contaminante	Total de enfermedades respiratorias		Infecciones de las vías respiratorias superiores		Infecciones de las vías respiratorias inferiores		Asma	
	RR	IC 95%	RR	IC 95%	RR	IC 95%	RR	IC 95%
PM ₁₀ desfase 1	0.992	0.961-1.024	0.984	0.950-1.019	1.004	0.965-1.044	1.012	0.936-1.095
PM ₁₀ desfase 2	1.000	0.969-1.032	1.002	0.967-1.038	0.992	0.954-1.032	1.012	0.936-1.095
PM ₁₀ desfase 3	1.004	0.973-1.036	1.006	0.971-1.042	1.014	0.975-1.055	0.923	0.854-0.998
PM ₁₀ desfase 4	1.020	0.989-1.053	1.030	0.999-1.063	1.008	0.969-1.048	0.980	0.906-1.060
PM ₁₀ ac 3 d	0.980	0.906-1.060	1.004	0.928-1.086	0.923	0.854-0.998	0.980	0.871-1.103
PM ₁₀ ac 5 d	0.961	0.888-1.039	1.018	0.941-1.101	0.819	0.728-0.921	0.990	0.846-1.158
PM ₁₀ ac 7 d	0.923	0.821-1.038	0.998	0.887-1.123	0.819	0.700-0.958	0.942	0.716-.239

Cada renglón indica un modelo separado. Todos los modelos fueron ajustados por temperatura, humedad y tiempo, día de la semana y días del fin de semana, así como estación y año del estudio

PM₁₀ ac3, 5, 7 d: acumulado de 3 o hasta 7 días

RR= riesgo relativo. Se presentan para un aumento de 20 µg/m³ en el promedio de 24 horas, que corresponde al intervalo entre cuartiles durante el periodo del estudio

IC95%= intervalos de confianza de 95%

24 horas de PM₁₀, que corresponde al intervalo entre cuartiles durante el periodo del estudio. No se observó una relación significativa entre los niveles ambientales de PM₁₀ y las consultas de urgencia por causas respiratorias, globalmente o después de estratificar por tipo de afección respiratoria. Se encontraron resultados similares entre niños de cinco años y menores, y niños de 6-16 años de edad.

Discusión

En este estudio, que contempla un periodo de cinco años (1997-2001), se detectaron relaciones significativas entre los niveles ambientales de ozono y las consultas de urgencia por causas respiratorias. Estas relaciones fueron más marcadas para el caso de infecciones de vías respiratorias superiores y asma en todos los grupos de edad.

Sin embargo, en niños de cinco años o menores, la exposición al ozono también estuvo asociada con las infecciones de vías respiratorias inferiores con un desfase de cuatro días; pero no se encontraron asociaciones significativas con las concentraciones ambientales de PM_{10} .

Los resultados son congruentes con los reportados por el estudio anterior realizado en Ciudad Juárez en 1997-1998.⁸ No obstante, el presente estudio incluyó un periodo de cinco años y, por consiguiente, ofrece mayores posibilidades de detectar una relación. Además, se logró estratificar los análisis por grupos etáreos e identificar un efecto de la exposición al ozono en las infecciones de las vías respiratorias inferiores en los niños más pequeños (≤ 5 años). Pocos estudios, examinados recientemente,⁹ se han centrado en el impacto de la contaminación atmosférica y las consultas de urgencia por causas respiratorias en niños. En un estudio realizado en la Ciudad de México por Téllez-Rojo y colaboradores,¹⁰ se señaló un aumento de 9.9% (IC95% 7.0-12.9) en las consultas de urgencia por infecciones de las vías respiratorias superiores en los meses de invierno, por un aumento de 50 ppb en el nivel máximo de ozono en una hora. En un estudio llevado a cabo en Santiago, Chile, Ilabaca y colaboradores,¹¹ señalaron un aumento en el riesgo de contraer infecciones de las vías respiratorias inferiores en la población infantil de 0-14 años, relacionado con PM_{10} y $PM_{2.5}$. También se observó una relación en otros contaminantes, en particular el ozono en el verano. Sin embargo, en ese estudio los niveles de PM_{10} fueron varias veces superiores a los observados en el trabajo actual, mientras que el nivel de ozono en los meses de verano fue muy similar en ambos. En un estudio efectuado en São Paulo, Brasil, Gouveia y colaboradores¹² indicaron un aumento de 7.6% en el riesgo de hospitalización por enfermedades respiratorias, relacionado con un aumento de 60 ppb en los niveles ambientales de ozono (promedio de 24 horas), mientras que se observó un efecto significativo del nivel de PM_{10} en el riesgo de hospitalización por neumonía entre niños menores de un año.¹² Los niveles de ozono fueron similares a los observados en el presente trabajo, mientras que los niveles de PM_{10} fueron considerablemente mayores. En otro estudio llevado a cabo en Ontario, Canadá, Burnett y colaboradores señalaron un aumento de 19.1% en las hospitalizaciones por infecciones de las vías respiratorias en niños de 0 a un año y de 4.4% en sujetos de 2-34 años de edad, con un aumento de 50 ppb de ozono (máximo de una hora) y $5.3 \mu g/m^3$ de sulfato (promedio diario).¹³ Más recientemente, en una serie cronológica de 14 años (1980-1994), estos autores observaron un aumento de 35% en las hospitalizaciones por problemas respiratorios en niños menores de dos años relacionado con un aumento de 45 ppb en el

promedio móvil de cinco días de las concentraciones máximas de ozono en una hora.¹⁴ En un estudio realizado en 25 hospitales de Montreal, Canadá, Delfino y colaboradores¹⁵ indicaron un aumento de 21% (CI95% 8-34%) en las consultas de urgencias por causas respiratorias en pacientes mayores de 64 años, relacionado con un aumento en el nivel promedio de concentración máxima de ozono en una hora (36 ppb), asimismo, entre los niños menores de dos años, se observó un aumento de 5% para un aumento de 4.0 nml H^+ . Con base en estos resultados y los obtenidos en el presente trabajo, queda claro que los niveles ambientales de ozono representan una amenaza para la salud respiratoria de los niños. La norma de ozono vigente en México es un máximo de 110 ppb en una hora; sin embargo, esta norma sólo se rebasó en 14 días durante el periodo de estudio. Esto indica que niveles de ozono más bajos afectan la salud respiratoria de los niños, por lo que deben tomarse medidas para disminuirlos. Existen evidencias recientes de que concentraciones de ozono a niveles más bajos puede ocasionar efectos sobre la salud respiratoria. En el estudio realizado en Toronto, Canadá, por Burnett y colaboradores, la media de las concentraciones de ozono por una hora máxima fueron de 45 ppb, y ellos observaron que la exposición promedio de cinco días anteriores, de una hora máxima de ozono, ocasiona un incremento en la admisión a hospitales por enfermedades respiratorias agudas de 35% en infantes de menos de dos años.¹⁴ En otro estudio llevado a cabo en niños asmáticos con exposición a concentraciones promedio por debajo de 60 ppb de una hora máxima, los autores encontraron que un incremento de 50 ppb de ozono se asoció con un incremento de 35% en la probabilidad de presentar dificultad para respirar y 47% de incremento en la probabilidad de presentar opresión en el pecho en niños que usaban medicamentos para asma.¹⁶

No se observó un impacto importante de los niveles de PM_{10} en las consultas de urgencia por causas respiratorias en la población de Ciudad Juárez; sin embargo, en un trabajo realizado con anterioridad por Romieu y colaboradores en la misma población, se reportó un incremento de mortalidad por causa respiratoria en infantes (menos de un año) de nivel socioeconómico bajo en relación con la exposición a PM_{10} .¹⁷ En el presente estudio no hubo oportunidad de estratificar los datos de morbilidad por nivel socioeconómico, dado que esta información no está registrada en las bases de datos del IMSS. No obstante, los niveles de PM_{10} se han relacionado con un aumento en las consultas de urgencia y hospitalizaciones, sobre todo en la población de edad avanzada con antecedentes de problemas cardiovasculares¹⁸ y en algunos estudios se ha observado un efecto en la población infantil.⁹

Por otro lado, es necesario analizar varios aspectos para interpretar los resultados del presente estudio. Las partículas suspendidas de tamaño 10 μm (PM_{10}) sólo se midieron cada seis días en Ciudad Juárez. Sin embargo, también se utilizó información de El Paso, Texas, a fin de obtener los niveles diarios de PM_{10} , y se encontró una alta correlación entre los niveles de PM_{10} de Ciudad Juárez y El Paso, Texas ($r=0.72$). Asimismo, en cuanto a la información de las consultas de urgencia, no fue posible obtener los datos de manera completa para todo el periodo de cinco años, y algunos de los registros no tenían información sobre la fecha de la consulta por lo que no podían incluirse en el análisis; pero es poco probable que se hubieran obtenido resultados distintos, si los datos de los meses faltantes se hubieran incluido. Además, es improbable que la información faltante de las consultas de urgencia por causas respiratorias difiera de otro tipo de consultas de urgencia y que se relacionen con los niveles de contaminación. De haber un sesgo por esta causa, este ocasionaría que el riesgo asociado a la contaminación se fuera hacia el valor nulo.

En resumen, el ozono parece actuar como un irritante entre los niños, en particular entre los más pequeños y los que padecen asma, e incrementar el riesgo de infecciones respiratorias y asma; sin embargo no observamos un efecto significativo de las partículas.

Conclusiones

En este artículo se presenta información sobre el impacto que tienen los contaminantes atmosféricos sobre la salud respiratoria infantil de Ciudad Juárez, ubicada en la frontera entre México y Estados Unidos. Esta es una ciudad representativa de la franja fronteriza, que cuenta con una población en crecimiento y condiciones ambientales precarias; asimismo, puede serlo de otras poblaciones urbanas de la República y otros países latinoamericanos. Es importante destacar que los niveles de contaminantes atmosféricos observados en este estudio son comunes en muchas zonas urbanas de la región. Se observó un efecto adverso de los niveles ambientales de ozono en las consultas de urgencia por enfermedades respiratorias. La amplitud del riesgo es de suma importancia ya que puede representar un incremento en los costos de atención en el sistema de salud y la sociedad en general. Los resultados destacan la necesidad de instrumentar acciones rentables para controlar los problemas de contaminación atmosférica y evitar que la situación empeore. Queda claro que es necesaria la participación y determinación de los gobiernos y la sociedad civil en su conjunto, en los ámbitos nacional, regional y local.

Referencias

1. Romieu I. Epidemiological studies of health effects arising from motor vehicle air pollution. In: Schwela D, Zali O, comps. *Urban traffic Pollution*. Londres: E&FN SPON, 1999.
2. Landrigan PJ, Carlson JE, Bearer C, Bullard RD, Etzel RA, Groopman J, et al. Children's health and the environment: A new agenda for preventive research. *Environ Health Perspect* 1998;106(3):787-799.
3. Semarnap, SSA, Gobierno del Estado de Chihuahua, Gobierno Municipal de Juárez. Programa de Gestión de la Calidad del Aire de Ciudad Juárez, 1998-2002. México, 1998.
4. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Cuaderno estadístico municipal, Ciudad Juárez, Estado de Chihuahua. Aguascalientes: INEGI, 1996.
5. Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud. Clasificación Internacional de Enfermedades 9a Rev. Modificación Clínica, 4a ed. Washington, DC: OPS/OMS, 1975.
6. Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud. Clasificación Internacional de Enfermedades 10a Rev. Modificación Clínica, 5a ed. Washington, DC: OPS/OMS, 1995.
7. Dominici F, McDermott A, Zeger SL, Samet JM. On the use of generalized models in time-series studies of air pollution and health. *Am J Epidemiol* 2002;156:193-203.
8. Hernández-Cadena L, Téllez-Rojo MM, Sanín-Aguirre LH, Lacasaña-Navarro M, Campos A, Romieu I. Relación entre consultas a urgencias por enfermedad respiratoria y contaminación atmosférica en Ciudad Juárez. *Salud Publica Mex* 2000;42:288-297.
9. Romieu I, Samet JM, Smith KR, Bruce N. Outdoor air pollution and acute respiratory infections among children in developing countries. *J Occup Environ Med* 2002;44:640-649.
10. Téllez-Rojo MM, Romieu I, Pena MP, Ruiz-Velasco S, Meneses-González F, Hernández-Avila M. Efecto de la contaminación ambiental sobre las consultas por infecciones respiratorias en niños de la Ciudad de México. *Salud Publica Mex* 1997;39:513-522.
11. Ilabaca M, Olaeta I, Campos E, Villaire J, Téllez-Rojo MM, Romieu I. Association between levels of fine particulate and emergency visits for pneumonia and other respiratory illness among children in Santiago, Chile. *J Air Waste Manage Assoc* 1999;49:154-163.
12. Gouveia N, Fletcher T. Respiratory diseases in children and outdoor air pollution in Sao Paulo, Brazil: a time series analysis. *Occup Environ Med* 2000;57:477-483.
13. Burnett RT, Dales RE, Raizenne ME, Krewski D, Summers PW, Roberts GR, et al. Effects of low ambient levels of ozone and sulfates on the frequency of respiratory admissions to Ontario hospitals. *Environ Res* 1994;65(2):172-194.
14. Burnett RT, Smith-Doiron M, Stieb D, Raizenne ME, Brook JR, Dales RE, et al. Association between ozone and hospitalization for acute respiratory diseases in children less than 2 years of age. *Am J Epidemiol* 2001;153(5):444-452.
15. Delfino RJ, Murphy-Moulton AM, Burnett RT, Brook Jr, Becklake MR. Effects of air pollution on emergency room visits for respiratory illnesses in Montreal, Quebec. *Am J Resp Crit Care Med* 1997;155:568-576.
16. Janneane FG, Triche EW, Holford TR, Belanger K, Bracken MB, Beckett WS, et al. Association of low-level ozone and fine particles with respiratory symptoms in children with asthma. *JAMA* 2003;290:1859-1867.
17. Romieu I, Ramírez-Aguilar M, Moreno-Macias H, Barraza-Villarreal A, Millar P, Hernández-Cadena L, et al. Infant mortality and air pollution: modifying effect by social class. *J Occup Environ Med* 2004;46:1210-1216.
18. Pope III CA, Dockery D. Epidemiology of particle effects. In: Holgate, ST, Samet JM, Koren HS, Maynard RL, et al, eds. *Air pollution and Health*. London, UK: Academic Press, 1999:671-705.