

Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica

Volumen 24
Volume

Número 2
Number

Septiembre 2003
September

Artículo:

Análisis de la relación del PM10 con las enfermedades respiratorias en la población urbana de Mexicali, Baja California: Un estudio de series de tiempo

Derechos reservados, Copyright © 2003:
Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica, AC

Otras secciones de
este sitio:

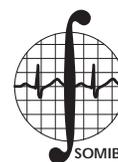
- 👉 Índice de este número
- 👉 Más revistas
- 👉 Búsqueda

*Others sections in
this web site:*

- 👉 *Contents of this number*
- 👉 *More journals*
- 👉 *Search*



Medigraphic.com



Análisis de la relación del PM10 con las enfermedades respiratorias en la población urbana de Mexicali, Baja California: Un estudio de series de tiempo

Marco Antonio Reyna Carranza,* Margarito Quintero Núñez,* Kimberly Collins,** Luis Vildósola Reyes*

* Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California.

** California Center for Border and Regional Economic Studies (CCBRES), San Diego State University-I.V. Campus, 720 Heber Avenue Calexico, CA 92231, www.ccbres.sdsu.edu

Correspondencia:

Marco Antonio Reyna Carranza
Blv. Benito Juárez y Calle de la Normal,
Unidad Universitaria s/n, Col. Insurgentes-
Este, C.P. 21280, Mexicali, Baja California,
México, mreyna@uabc.mx

RESUMEN

Mexicali es la tercera ciudad más contaminada del país y la segunda por partículas menores a 10 micrómetros de diámetro (PM10), los estándares anuales permitidos ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) son sobrepasados continuamente. Su contraparte estadounidense el Valle Imperial, forma parte de la misma zona geográfica y presenta niveles semejantes, aunque superiores. Asociado al PM10, Imperial reporta el mayor índice de asma infantil de California, igualmente Mexicali en Baja California. Las principales fuentes del PM10 son de origen natural, polvo y polen principalmente; las antropogénicas están tomando mayor importancia debido al crecimiento acelerado que experimenta la cuenca atmosférica binacional. Las termoeléctricas construidas recientemente es un indicativo de ello, y causa preocupación binacional el impacto ecológico que presumiblemente tendrán sobre todo en la ya deteriorada calidad del aire.

Escasos documentos publicados, tratan de salud y/o del medioambiente de Mexicali y reportan datos referentes al PM10 o a enfermedades respiratorias, incluido el asma, pero son pocos los que involucran ambos aspectos. Esto conlleva a la toma de decisiones ecológicas erróneas y a una deficiente claridad para establecer directrices y/o políticas para mejorar la salud ambiental de la cuenca atmosférica fronteriza.

Se estudió un modelo basado en la regresión de Poisson que coadyuvará a conocer el impacto del PM10 sobre las principales enfermedades respiratorias bajo el efecto de la temperatura y la humedad relativa, de la cuenca fronteriza Mexicali/Imperial.

Se analizaron series temporales de PM10 de seis estaciones de monitoreo ambiental (EMA) instaladas en Mexicali, y de las series temporales de asma, infecciones respiratorias agudas (IRA) y neumonía obtenidas de los Centros de Salud Públicos del Estado de Baja California, para los 4 años comprendidos de 1997 al 2000.

Se identificaron las principales fuentes de contaminación por PM10 y sus porcentajes de contribución respecto al total. También se obtuvieron las gráficas de dispersión y coeficientes de correlación cruzada entre las series de tiempo de las enfermedades respiratorias y entre las series de tiempo de las variables meteorológicas incluyendo al PM10.

Palabras clave:

PM10, Poisson, modelo, Mexicali, Imperial, enfermedades respiratorias, plantas termoeléctricas.

ABSTRACT

Mexicali is the third most contaminated city of the country, the second by particles smaller than 10 micrometers in diameter (PM10), the mean annual standards ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) are continuously surpassed. Its north American counterpart, the Imperial Valley is in the same geographic area but lightly higher levels of particulate matter. Associated to PM10, Imperial reports the highest child asthma index in California, the same holds for Mexicali related to Baja California. The primary source for PM10 are of natural origin, dust and pollen primarily; the anthropogenic sources are gaining importance due to an accelerated growth in this bi-national basin. The recently built thermoelectric plants are an indication of this and its implied ecological impact is a source of concern taking into account the already diminished quality of air. Very few published documents focus on health or Mexicali's environment, they report data on PM10 or respiratory illness, including asthma but are few those doing simultaneous analysis on both. This leads to erroneous environmental decisions an insufficient clarity to establish directives and/or policies to improve the environmental health in the borders atmospheric basin. A model based on Poisson regression was studied in order to gain knowledge relating the impact that PM10 may have on the primary respiratory diseases under the influence of Temperature and Relative Humidity on the Mexicali/Imperial border corridor. Six time series were analyzed, those from PM10 were taken from Environmental Monitoring Stations in Mexicali, those for asthma, acute respiratory infections and pneumonia were obtained from public health centers under supervision of the State of Baja California in a lapse of four years, from 1997 to 2000. The primary source of pollution for PM10 is identified and their relative percentage contributing to the total. Dispersion graphs and cross correlation coefficients were also obtained for respiratory illness incidence and those time series relating the environmental markers including PM10.

Key Words:

PM10, Poisson, model, Mexicali, Imperial, Respiratory diseases, Thermoelectric plants.

INTRODUCCIÓN

Cada vez son más los documentos técnicos y científicos que demuestran la relación que tienen las micropartículas suspendidas respirables con los incrementos de los índices de mortalidad y morbilidad en muchas de las poblaciones de un número considerable de ciudades de todo el mundo. Ya en 1880 en Inglaterra había ocurrido tal vez la primera gran evidencia de que el aire contaminado produce muerte y enfermedad, una gran nube gris apareció sobre el cielo de Londres, Inglaterra matando alrededor de 2,200 personas. Años más tarde en 1952 y en ese mismo país, mueren alrede-

dor de 4,000 personas en donde también al suceso se le asocia con la contaminación del aire¹. Después de ocurridos estos eventos y de algunos otros posteriores, muchos científicos se dieron a la tarea de investigar sobre las fuentes que producían la contaminación del aire y de cómo ésta afectaba la salud de los habitantes; de hecho, en nuestros días, el estudiar los efectos que el PM-10 tiene sobre la salud de las poblaciones ha tomado una importancia sin precedentes y sigue siendo un tema de profunda e ininterrumpida investigación científica en muchos países²⁻⁸.

El material en forma de partículas que queda suspendido en la atmósfera por periodos largos

de tiempo y con una altura suficiente como para que las personas puedan respirarlo, suele ser el más perjudicial para el sistema respiratorio. A este tipo de material se le conoce como partículas suspendidas totales (PST), pero no todas las partículas que componen este conjunto de materiales son respirables, las partículas que pueden ingresar al tracto respiratorio son subconjuntos de las PST, conocidas como partículas menores a 10 micrómetros de diámetro (PM-10) y las conocidas como partículas menores a 2.5 micrómetros de diámetro (PM-2.5). Las partículas que miden entre 5 y 10 micrómetros no alcanzan a ingresar a los tejidos más profundos del sistema respiratorio y se quedan atrapadas por las mucosas a nivel de nariz, laringe, faringe y tráquea, no obstante si producen trastornos como alergias que van desde las más leves, como simples estornudos, hasta las severas que pueden derivar en enfermedades crónicas como la otitis, dependiendo del tipo de material del que se componga la partícula. A medida que disminuye su diámetro, las partículas suelen ser más peligrosas porque alcanzan a penetrar hasta las zonas de tejido más interno de las vías respiratorias como son los bronquiolos y alvéolos en donde se generan también reacciones mucho más graves que pueden crear complicaciones tales como: mayor riesgo para desarrollar cáncer pulmonar, muertes anticipadas, síntomas respiratorios graves, irritación de las mucosas de ojos, oídos y nariz, los casos de asma se agudizan, las enfermedades cardiovasculares se agravan. El artículo de *Ewa Mariéthoz et al* describe de manera muy interesante cómo se producen las reacciones alérgicas en el sistema respiratorio humano⁹.

Las micropartículas suspendidas provienen de distintas fuentes que pueden ser de origen natural o antropogénico, y cuando se mezclan con el aire se vuelven mucho más complejas y variadas. Para las partículas más gruesas con diámetros que van desde los 2.5 a los 100 μm , las principales fuentes de emisión son: el polvo y el humo que provienen de la industria como la fabricación de cemento, cal y materiales pétreos, procesos agrícolas como la quema de parcelas y fumigaciones, polvo que se produce de la construcción, el polvo emanado de las rutas no pavimentadas, y el polen que producen algunas plantas, entre otras fuentes de origen natural. Las partículas más finas, aquellas que miden menos de 2.5 μm de diámetro provienen principalmente de las emisiones que producen las máquinas que utilizan com-

bustibles fósiles como los coches, y de algunos aerosoles de nitratos y sulfatos.

Para proteger y/o prevenir el impacto hacia la salud de las personas que pudieran inducir las partículas suspendidas, existen normas que establecen cantidades máximas permisibles en las concentraciones que permanecen en el aire. La norma mexicana establece que las concentraciones de PM-10 no deben rebasar los 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de aire para 24 horas de exposición, mientras que la norma norteamericana establece que no se deben de rebasar los 155 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de aire para 24 horas de exposición.

ANTECEDENTES

Mexicali, capital del Estado de Baja California en México se localiza en la parte más alejada del noroeste y está separada por la línea internacional de Caléxico del Condado Imperial situado en el Estado de California EUA; son dos Valles que comparten la misma situación geográfica, las mismas condiciones meteorológicas y también los mismos problemas de contaminación ambiental principalmente la contaminación del aire (Cuadro 1), al que se le asocian los elevados índices de enfermedades respiratorias como asma, bronquitis, neumonía y alergias, sobre todo en infantes para el grupo de edad de 1 a 14 años¹⁰⁻¹². La situación de las enfermedades respiratorias se ha venido agravando en ambos valles de la frontera, al igual que los niveles de las concentraciones de micropartículas suspendidas respirables¹³. De hecho la entonces SEMARNAP en su segundo informe¹⁴ califica al aire de Mexicali como grave, y muestra una gráfica de barras (Figura 1) en donde se señala que ésta es la segunda ciudad del país, después de la ciudad de México que viola continuamente los promedios anuales de PM10 permitidos de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de aire. Agregado a esto, el temor de que las dos plantas termoeléctricas recientemente construidas en Mexicali, "La Rosita" y "Termoeléctrica de Mexicali", agraven aún más la situación del aire de la cuenca fronteriza se ha hecho patente en ambos valles de la frontera^{15,16}. Datos interesantes sobre las concentraciones de varios contaminantes y enfermedades respiratorias para el caso de Mexicali se pueden encontrar en el Inventario de Emisiones de Mexicali¹⁷ y en un reporte presentado por el IseSalud¹⁸ en el Forum on Environmental Health at the California-Baja California Border llevado a cabo en Mexicali¹⁹. En las gráficas de este reporte se puede observar un incremento sis-

Cuadro 1. Ciudades fronterizas que rebasan los estándares de la calidad del aire. El renglón sombreado señala con una X los contaminantes del aire que son violados en Mexicali e Imperial.

Ciudad	PM-10	SO ₂	CO	O ₃
El Paso, Tx.	x		x	x
Condado Doña Ana	x			x
Condado Imperial	x		~ (1)	~ (2)
San Diego			x	x
Douglas	x	x		
Nogales, Az.	x			
Yuma	x			
Tijuana	x		x	x
Mexicali	x		x	x
San Luis Río Colorado	x			
Nogales, Son.	x			
Agua Prieta	x	x		
Ciudad Juárez	x		x	x

~ (1). "Sin clasificación de cumplimiento".
 ~ (2). "Transitoria" de no cumplimiento.

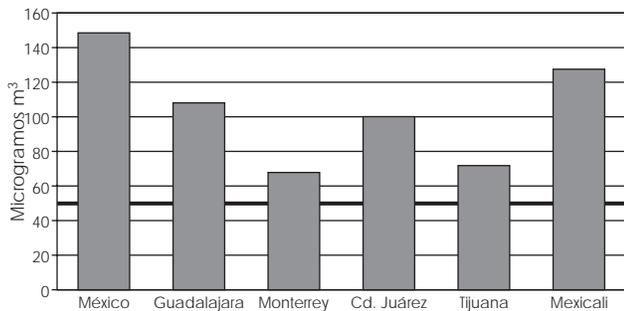


Figura 1. Promedio anual de PM10 (1997) de las principales ciudades mexicanas que violan la norma del PM10.

temático de las enfermedades respiratorias para los años de 1998 al 2001.

En el año de 1991, se publica un artículo en la revista *Environmental Research*²⁰ en donde se reportan los resultados de una serie de experimentos realizados con animales de laboratorio para cuantificar el grado de toxicidad de las partículas inorgánicas del polvo producido en la ciudad de Mexicali.

En 1997 se realiza un estudio patrocinado por la US Environmental Protection Agency, Region IX, y conducido por el Instituto de Investigaciones del Estado de Nevada, con el objeto de conocer con más precisión las fuentes y los tipos de material microfraccionado suspendido en el aire de ambos valles fronterizos²¹. Con el muestreo se determinó que los promedios anuales para el PM-10 eran

excedidos en ambos lados de la frontera. En promedio, se encontró que el componente más abundante fue el material geológico de 50% a 62% del total de PM-10. El hollín fue el segundo componente más abundante con alrededor del 25% del total de PM-10. Sulfato, nitrato, amonio, aluminio, silicón, titanio, calcio, y hierro fueron los menos abundantes entre el 1% y el 4% del total de PM-10. Las concentraciones abundantes de sodio y cloro encontradas se le atribuyen a los vientos provenientes del Golfo de California.

Otro informe presentado por INE-SEMARNAP, señala que el material microfraccionado PM-10 emitido a la atmósfera es de 80,414 toneladas/año para el Valle Imperial y de 71,323 toneladas/año para Mexicali²².

La problemática de la contaminación del aire en ambos valles de la frontera ha tomado matices alarmantes dado el aumento en la gravedad de los casos de asma y por los incrementos de las enfermedades cardio-respiratorias en la población. Tan es así, que el ex-presidente Zedillo presentó durante su mandato el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en Mexicali 2000-2005²³; en él se propone el abatir la contaminación del aire por PM-10 en un 30% mediante las siguientes acciones: fortalecimiento de la inspección y vigilancia de establecimientos industriales y de servicios, verificación vehicular y de atención y sanción de vehículos ostensiblemente contaminantes, la gestión urbana y de transporte, la reforestación, el incremento a la pavimentación de calles, el uso adecuado de suelos y la promoción de un Programa de Participación Social y de Educación Ambiental, así como la firma de acuerdos fronterizos. Se hace necesario pues, revisar todos los puntos citados para ver el grado de avance de cada una de las acciones presentadas en el mencionado programa.

Por la contraparte estadounidense, la *Environmental Protection Agency, Region 9*, publica un documento que se puede leer por internet, al cual llamó *Imperial County PM-10 Actions*, en donde se proponen las acciones que deberían tomarse para abatir la polución por material microfraccionado²⁴.

Paul B. English et al (1998)¹³, realizaron un estudio comparativo entre el condado Imperial y el condado de San Diego, en donde señalan que el condado de Imperial tuvo la tasa más alta de hospitalizaciones por asma en menores de 14 años en todo California, y que de 1983 a 1994 se registró un aumento de la tasa a una

razón del 59% contra una disminución del 9% para San Diego.

Todos los estudios citados dan cuenta de un incremento constante en los niveles del PM-10 y de los casos de las enfermedades respiratorias para la cuenca atmosférica Mexicali/Imperial. Por lo que es pertinente realizar estudios binacionales que permitan el analizar la relación existente entre las enfermedades respiratorias con los niveles de contaminación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se generó una base de datos clínica y una base de datos de variables ambientales para Mexicali. La primera base de datos (i.e., base de datos clínica) contiene las series de tiempo de asma, neumonía e infecciones respiratorias agudas (IRA). Cada serie de tiempo fue capturada de los expedientes clínicos de los centros de salud públicos de Mexicali, los cuales fueron proporcionados por el IseSalud para los años de 1997 al 2000. La segunda base de datos la compone las series temporales ambientales de temperatura, humedad relativa y PM-10 también para los años de 1997 al 2000. Los datos ambientales fueron proporcionados por la *California Air Resources Board* (CARB) la cual tiene instaladas seis

estaciones de monitoreo ambiental en distintos puntos de la ciudad.

Aunque las series de las variables ambientales originales representan promedios de 24 horas, las que aquí se usaron para el análisis son promedios semanales, ya que los datos de las variables clínicas estaban disponibles por conteos semanales de hospitalizaciones.

Las series de tiempo tanto clínicas como ambientales, se muestran en la Figura 2. En ella es posible ver cómo se dan las variaciones año con año para cada una de las series.

RESULTADOS

Como se puede ver en las gráficas de las Figuras 2(f) y 3, el PM10 sobrepasa los estándares de la calidad del aire tanto para los promedios anuales de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (línea discontinua gruesa) como para los promedios de 24 horas de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (línea continua gruesa), aunque estos últimos sólo se rebasan durante ciertas semanas pero de manera sistemática año con año (Figura 4).

En el Cuadro 2 se exhiben los valores promedio de temperatura, humedad relativa y PM10 para cada una de las estaciones de los años analizados; y en el Cuadro 3 se muestran los conteos de hospitalizaciones también por estaciones del año

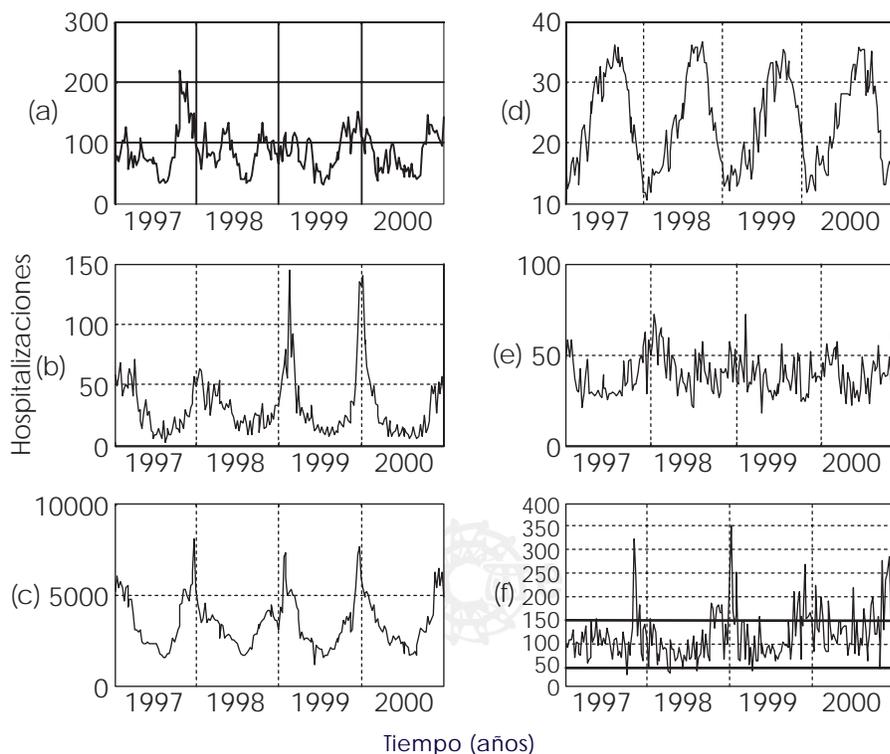


Figura 2. Hospitalizaciones de 1997 al 2000, de las principales enfermedades respiratorias de Mexicali: (a) asma, (b) neumonía, (c) infecciones respiratorias agudas (IRA), que son afectadas por el material microfraccionado respirable cuyas series de tiempo fueron recogidas de las estaciones de monitoreo de Mexicali para los años de 1997 al 2000, (d) temperatura, (e) humedad relativa y (f) PM-10, en donde la línea discontinua gruesa indica el estándar de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de aire para promedios anuales, y la línea continua gruesa indica el estándar de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para monitoreos de 24 horas.

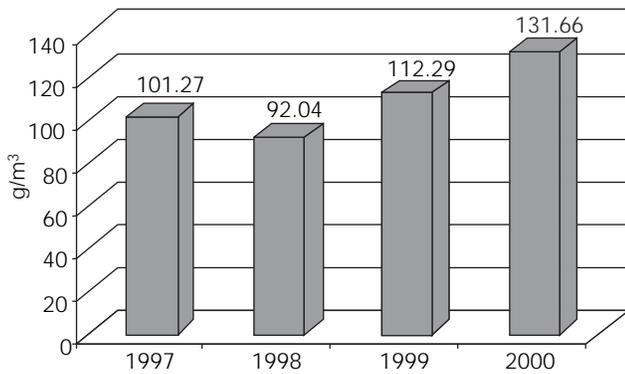


Figura 3. Gráfica de barras en donde se representan los niveles promedio anuales de PM10 y en donde se observa que los estándares de 50 µg/m³ de aire es rebasado en los cuatro años.

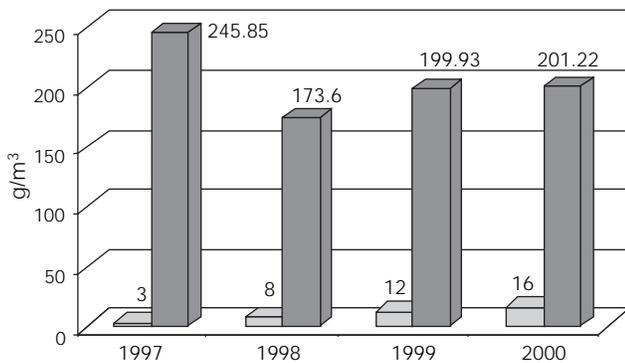


Figura 4. Gráfica de barras que muestra el Número de semanas que rebasan los estándares de 150 µg/m³ de aire y promedios de PM10 para esas semanas por año.

para los mismos años estudiados. Esto permite ubicar las estaciones del año en las que se presenta el mayor número de hospitalizaciones y conocer el comportamiento de las variables atmosféricas durante esas hospitalizaciones. Por ejemplo, se puede notar que el menor número de hospitalizaciones ocurre durante las estaciones de verano, y que durante estas mismas estaciones la temperatura resulta ser la más alta, mientras que el PM10 por el contrario suele ser el más bajo. Es importante señalar que para el caso de los inviernos de cada 1997 sólo se promediaron los meses de enero y febrero, ya que no se contaba con la información de diciembre de 1996, dado que las estaciones de monitoreo empezaron a funcionar adecuadamente en 1997, razón por la cual los valores promedio de esas fechas son inferiores a la de los años posteriores.

La Figura 5 presenta las gráficas de dispersión y los coeficientes de correlación lineal que resultan al cruzar cada una de las variables atmosféricas con cada una de las variables clínicas. Se puede ver aquí, que cuando la gráfica de dispersión presenta un comportamiento con tendencia lineal, el coeficiente de correlación tiende a aumentar, tal es el caso de la correlación entre la temperatura contra cada una de las patologías. Otra cosa interesante de notar en las gráficas de dispersión es que la correlación más baja se presenta entre la humedad relativa y asma con 0.11, le sigue el

Cuadro 2. Valores promedio de temperatura, humedad relativa y partículas menores a 10 micras calculadas para cada una de las estaciones de los años analizados.

Est	Variables atmosféricas											
	Temp (promedio)				HR (promedio)				PM10 (promedio)			
	1997	1998	1999	2000	1997	1998	1999	2000	1997	1998	1999	2000
Inv	9.57	13.77	14.78	14.99	27.25	55.65	41.66	44.35	57.39	92.82	148.21	139.88
Prim	24.81	20.87	20.73	23.50	30.03	39.28	36.41	33.41	98.51	67.44	79.59	121.43
Ver	32.21	32.98	31.22	32.11	30.30	38.87	36.85	38.28	90.50	71.39	74.82	103.77
Oto	24.23	23.52	25.92	22.77	41.51	37.93	35.91	42.11	121.46	131.14	136.95	149.05

Cuadro 3. Conteo del número de hospitalizaciones en cada estación del año para las patologías de asma, neumonía e infecciones respiratorias agudas durante los años de 1997 al 2000.

Est	Patología											
	Asma				Neumonía				IRA			
	1997	1998	1999	2000	1997	1998	1999	2000	1997	1998	1999	2000
Inv	712	1,262	1,165	1,376	417	590	793	1,019	43,113	59,391	62,863	67,820
Prim	1,005	1,223	1,120	901	481	482	406	225	40,355	40,721	40,242	37,207
Ver	646	700	629	702	126	232	154	131	24,913	25,855	23,630	27,076
Oto	1,815	1,233	1,361	1,290	243	280	278	293	50,590	45,818	41,760	46,643

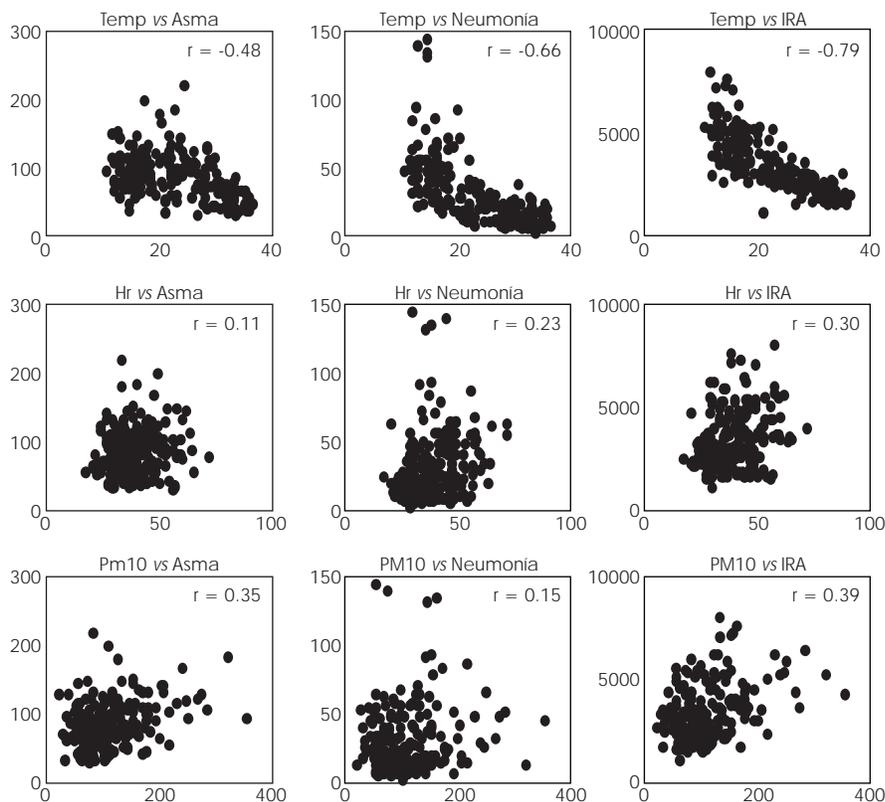


Figura 5. Gráficas de dispersión que muestran la asociación que guardan las variables atmosféricas de temperatura, humedad relativa y PM10 con las variables clínicas de asma, neumonía e infecciones respiratorias agudas. También se observa el coeficiente de correlación lineal para cada uno de los cruces.

PM10 vs neumonía con 0.15 y luego la humedad relativa vs neumonía con 0.23.

Con la regresión de Poisson se obtuvieron los distintos modelos para el asma, la neumonía y las infecciones respiratorias agudas, combinando las variables observadas de temperatura, humedad relativa y PM10. En los Cuadros 4, 5 y 6 se pueden ver los valores R^2 de confiabilidad para las predicciones obtenidas de los modelos de asma, neumonía e infecciones respiratorias agudas respectivamente. Por ejemplo, para el asma el mejor modelo resultó cuando se incluyeron las tres va-

Cuadro 4. Porcentajes de confianza R^2 del modelo obtenido para el asma usando las tres variables observadas de: (a) temperatura, humedad relativa y PM10, (b) temperatura y PM10, (c) temperatura y humedad relativa y (d) humedad relativa y PM10.

Modelo	R^2
(a) Temp, Hr, PM10	86%
(b) Temp, PM10	70%
(c) Temp, Hr	65%
(d) Hr, PM10	43%

Cuadro 5. Porcentajes de confianza R^2 del modelo obtenido para la neumonía usando las tres variables observadas de: (a) temperatura, humedad relativa y PM10, (b) temperatura y PM10, (c) temperatura y humedad relativa y (d) humedad relativa y PM10.

Modelo	R^2
(a) Temp, Hr, PM10	66.9%
(b) Temp, PM10	66.8%
(c) Temp, Hr	66.8%
(d) Hr, PM10	21.7%

Cuadro 6. Porcentajes de confianza R^2 del modelo obtenido para las IRA usando las tres variables observadas de: (a) temperatura, humedad relativa y PM10, (b) temperatura y PM10, (c) temperatura y humedad relativa y (d) humedad relativa y PM10.

Modelo	R^2
(a) Temp, Hr, PM10	83.3%
(b) Temp, PM10	83.3%
(c) Temp, Hr	79.3%
(d) Hr, PM10	36.7%

riables atmosféricas de temperatura, humedad relativa y PM10 con el 86% de confiabilidad, el segundo mejor se obtuvo cuando se eliminó la variable de humedad relativa con el 70% de confiabilidad, con lo que se demuestra que la baja correlación entre la humedad relativa y el asma hace que el modelo sea poco sensible a la humedad relativa; en cambio el PM10 y la temperatura tienen un efecto muy importante sobre el modelo, ya que éste presenta un 65% y un 43% de confiabilidad respectivamente. Los porcentajes de confiabilidad para los modelos de neumonía e IRA se pueden ver en los Cuadros 5 y 6 respectivamente.

Una vez obtenidos los modelos, éstos se usaron para calcular el estimado del número de hospitalizaciones de asma, neumonía e IRA, que se presentarían si los niveles de PM10 fueran de cero durante todo el año. En los Cuadros 7, 8 y 9 se muestran los resultados de este ejercicio. Por ejem-

plo, en el caso del asma para el año de 1997 el modelo encontró que para niveles de PM10 menores de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de aire las hospitalizaciones serían 1.1% menos que para los niveles normales de PM10. Para valores de PM10 menores a los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el modelo encontró que el número de hospitalizaciones sería de un 8.3% menos que para los niveles normales de PM10; y para niveles de PM10 de cero, el modelo determinó que el número de hospitalizaciones sería un 15.4% menos que para los niveles normales de PM10. Los resultados para la neumonía e IRA se pueden ver en los Cuadros 8 y 9 respectivamente.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Con el análisis ecológico exploratorio de las series de tiempo tanto de las variables atmosféricas de temperatura, humedad relativa y PM10 como de las variables clínicas de asma, neumonía e IRA, fue

Cuadro 7. Porcentaje de hospitalizaciones que se producirían por año estimadas con el (a) modelo para el asma, (b) con el mismo modelo pero para valores del PM10 por debajo de los $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de aire, (c) con el mismo modelo pero para valores de PM10 por debajo de los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de aire, y (d) con el mismo modelo pero para valores de PM10 iguales a cero.

Algoritmo	1997	1998	Año 1999	2000	1997-2000
(a) Modelo (T, Hr, PM10)	4,089	4,084	4,282	4,326	16,781
(b) Esperado (PM10 $\leq 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	1.1% menos	0.7% menos	2.5% menos	3.1% menos	1.9% menos
(c) Esperado (PM10 $\leq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	8.3% menos	7.4% menos	10.8% menos	13.3% menos	10.0% menos
(d) Esperado (PM10 = 0)	15.4% menos	14.4% menos	17.7% menos	19.9% menos	16.9% menos

Cuadro 8. Número de hospitalizaciones esperadas de neumonía obtenidas con el (a) modelo usando las variables observadas de temperatura, humedad relativa y PM10, y (b) porcentaje de hospitalizaciones que se hubieran producido si los niveles de PM10 hubieran sido de cero.

Algoritmo	1997	1998	Año 1999	2000	1997-2000
(a) Modelo (T, Hr, PM10)	1,389	1,465	1,438	1,393	5,685
(b) Esperado (PM10 = 0)	2.3% menos	2.1% menos	2.7% menos	3.2% menos	2.6% menos

Cuadro 9. Número de hospitalizaciones esperadas de IRA obtenidas con el (a) modelo usando las variables observadas de temperatura, humedad relativa y PM10, y (b) porcentaje de hospitalizaciones que se hubieran producido si los niveles de PM10 hubieran sido de cero.

Algoritmo	1997	1998	Año 1999	2000	1997-2000
(a) Modelo (T, Hr, PM10)	166,141	171,047	174,971	177,727	689,888
(b) Esperado (PM10 = 0)	14.5% menos	13.7% menos	16.9% menos	19% menos	16.12% menos

posible conocer por ejemplo que los estándares de la calidad del aire del promedio anual de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fueron rebasados durante los 4 años analizados, y también fue posible ubicar el número de semanas por año que sobrepasaron los estándares de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de aire.

También se pudo determinar el número de hospitalizaciones para las patologías estudiadas de asma, neumonía e infecciones respiratorias agudas que ocurrieron durante las estaciones de invierno, primavera, verano y otoño en los 4 años. Se observó que la estación en donde se notó una disminución significativa en el número de hospitalizaciones fue durante el verano tanto para el asma, la neumonía y las IRA y se mantuvo así para los cuatro años de 1997 al 2000. Un aspecto importante de notar fue el comportamiento que siguieron las variables atmosféricas durante esta estación; por ejemplo, las temperaturas promedio registradas en los cuatro años fueron las más altas y oscilaron entre los 32 y 33 grados centígrados, mientras que los niveles de PM10 registraron los niveles más bajos de entre los 91 y $104 \text{mg}/\text{m}^3$ de aire. La humedad relativa registró niveles ligeramente superiores a los de primavera y en algunos años un poco más bajos que durante el otoño, sin embargo los niveles fueron notoriamente superiores durante el invierno.

Con este primer análisis y con base en las asociaciones encontradas en esta primera exploración, se puede pensar que las variables atmosféricas de temperatura y PM10 presentan un mayor efecto sobre las variables clínicas que la humedad relativa. Esta aseveración se puede hacer de manera intuitiva, pero no es posible determinar de forma cuantitativa el grado de efecto que tiene cada variable atmosférica sobre las variables clínicas. Para ello se obtuvieron las gráficas de dispersión y se calcularon los coeficientes de correlación. Bajo los lineamientos de Colton para determinar el grado de correlación entre las variables se observó que la variable de temperatura fue la que presentó el mayor efecto sobre las variables clínicas, el coeficiente encontrado entre la temperatura y las IRA fue el más alto de -0.79 considerado como excelente, le siguió la neumonía con correlación buena de -0.66 y finalmente el asma con una correlación moderada de -0.48 . La humedad relativa presentó una baja correlación para las IRA de 0.39 y nula correlación entre neumonía y asma de 0.23 y 0.11 respectivamente. Las correlaciones del PM10 sobre el asma, la neumonía y las IRA fueron de 0.35 , 0.15 y 0.39 respectiva-

mente, indicando un efecto moderado sobre el asma, un efecto nulo sobre la neumonía y un efecto moderado sobre las IRA.

Con esta nueva información fue posible determinar:

- que la temperatura tiene un efecto muy importante sobre las tres patologías consideradas en el estudio,
- que la humedad relativa tiene efecto pobre sobre las IRA y ninguno sobre la neumonía y el asma,
- y que el PM10 tiene efecto únicamente sobre el asma y las infecciones respiratorias agudas.

El determinar el tipo de distribución que presenta cada variable nos da una idea de la clase de modelo o modelos que pueden ser usados en regresión. En este caso, y como suele suceder en este tipo de datos, la mayoría de las series temporales que se analizaron presentaron una distribución de Poisson. Esto nos llevó a tomar la decisión de aplicar la Regresión de Poisson para obtener un modelo para cada patología. En el caso del asma, el modelo bajó su confiabilidad del 86% al 70% cuando se omitió la humedad relativa, del 86% al 65% cuando se omitió el PM10 y del 86% al 43% cuando se descartó la temperatura. Esto indica nuevamente que en este modelo la temperatura y el PM10 tienen un efecto mayor que la humedad relativa.

Para el modelo de la neumonía el porcentaje de confiabilidad se mantuvo igual del 66.9% al 66.8% al eliminar primero la humedad relativa y después el PM10; sin embargo bajó radicalmente del 66.9% al 21.7% al omitir la temperatura. Con esto se demuestra que las neumonías podrían ser mucho más sensibles a las temperaturas y muy poco sensibles a la humedad relativa y al PM10.

El modelo de las IRA mantuvo el porcentaje de confiabilidad del 83.3% al eliminar la humedad relativa y bajó ligeramente del 83.3% al 79.3% cuando se descartó el PM10. Al omitir la temperatura en este modelo, el porcentaje de confiabilidad nuevamente bajó abruptamente del 83.3% al 36.7%. Esto nos podría estar indicando que las IRA son altamente sensibles a la temperatura, poco menos sensibles al PM10 pero completamente insensibles a la humedad relativa.

Una vez obtenidos los tres modelos, se usaron para determinar el número de hospitalizaciones que hubieran podido evitarse durante los años de 1997 al 2000 si los niveles de PM10 hubieran sido

de cero. Para el asma el modelo encontró que hubieran podido ocurrir 15.4% menos hospitalizaciones en 1997, 14.4% menos en 1998, 17.7% menos en 1999 y 19.9% menos en el 2000. Para la neumonía el modelo determinó que se hubieran producido un 2.3% de hospitalizaciones menos en 1997, 2.1% menos en 1998, 2.7% menos en 1999 y 3.2% menos en el 2000. En las IRA hubieran sido 14.5% menos hospitalizaciones en 1997, 13.7% menos en 1998, 16.9% menos en 1999 y 19% menos en el 2000.

Se demostró que las predicciones de los tres modelos (i.e., asma, neumonía e IRA) son mucho más sensibles a la temperatura que al PM10, pero muy poco sensibles a la humedad relativa. Las neumonías por ejemplo, muestran nula sensibilidad al PM10; en cambio el asma presenta mayor sensibilidad al PM10 que las IRA. El que las neumonías e IRA sean poco sensibles al PM10 no quiere decir que también lo sean a otros contaminantes atmosféricos como el monóxido de carbono (CO), o el ozono (O₃); de hecho, los estándares de estos elementos también son rebasados con frecuencia en el aire de Mexicali. El porcentaje de confianza en la predicción podría mejorarse si estos elementos se incluyen en el diseño de los modelos.

Este tipo de pruebas están siendo exploradas y se consideran como extensiones futuras de este trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación está siendo parcialmente financiado por la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), *Southwest Center for Environmental Research and Policy* (SCERP) y por la *Fulbright Scholarship Board* (FSB) del Programa de Académicos de la Frontera, COMEXUS.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ministry of Public Health. 1954. Mortality and Morbidity during the London Fog of December 1952. Reports on Public Health and Medical Subjects, No. 95. London: Her Majesty's Stationary Office.
2. Borja VH. Estudios ecológicos. *Salud Pública de México* 2000; 42: 533-538.
3. Díaz J, García R, Ribera P, Alberdi JC, Hernández E, Pajares MS, Otero A. Modeling of air pollution and its relationship with mortality and morbidity in Madrid, Spain. *Int Arch Occup Environ Health* 1999; 72: 366-376.
4. Ostro BD. Cómo estimar los efectos de la contaminación atmosférica en la salud. *Estudios Públicos* 1998; 69: 105-113.
5. Pajares MS, Díaz J, Montero JC, Alberdi JC, Mirón IJ. Mortalidad diaria en la Comunidad de Madrid durante el periodo 1986-1991 para el grupo de edad de 45 a 64 años: su relación con la temperatura del aire. *Rev Esp Salud Pública* 1997; 71(2): 149-160.
6. Pope CA III, Dockery DW, Spengler JD, Raizenne ME. Respiratory Health and PM₁₀ Pollution. *Am Rev Respir Dis* 1991; 144: 668-674.
7. Pope CA III, Thun MJ, Namboodiri MM, Dockery DW, Evans JS, Speizer FE et al. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 151: 669-674.
8. Schenker MB, Gold EB, Lopez RL, Beaumont JJ. Asthma Mortality in California, 1960-1989. *Am Rev Respir Dis* 1993; 147: 1454-1460.
9. Maréthoz E, Lacroix JS, Moeschler MB, Hogendijk S, Spertini F, Polla BS. Allergy and the Environment: A Meeting Report. *Reviews on Environmental Health* 1999; 14: 63-78.
10. California Department of Health Services. Environmental Health Investigations Branch. California County Asthma Hospitalizations Chart Book. 2000.
11. IseSalud 1998. Informe Semanal de Casos Nuevos de Enfermedades.
12. Reyna MA, Alvarez JE. El último suspiro de vida. *Ciencia y Desarrollo*. Ed. CoNaCyT julio/agosto 2001; 159: 40-45.
13. English PB, Von Behren J, Harnly M, Neutra R. Childhood asthma along the United States/Mexico border: hospitalizations and air quality in two California counties. *Pan Am J Public Health* 1998; 3: 392-399.
14. INE-SEMARNAP 1998. Segundo informe sobre la calidad del aire en ciudades mexicanas.
15. Cornejo JA. Empresas de EUA construyen dos termoeléctricas en Mexicali; de 100 mdd, la inversión total (La Jornada) 17 de julio. 2002.
16. Cornejo JA. Termoeléctricas en Mexicali no cumplirán con los requisitos ambientales de EUA (La Jornada) 23 de octubre. 2002.
17. Inventario de Emisiones de Mexicali (Informe Final). Grupo Técnico del Inventario de Mexicali. Ingeniería en Control Ambiental y Riesgo Industrial, S. de R. L. M. I. 1999.
18. IseSalud 1998. Informe Semanal de Casos Nuevos de Enfermedades.
19. Universidad Autónoma de Baja California (UABC) and CCBRES. April 9th and 10th 2002. Forum on Environmental Health at the California-Baja California Border.
20. Osornio VAR, Hernández-Rodríguez NA, Yáñez-Buruel AG, Ussler W, Overby LH, Brody AR. Lung Cell Toxicity Experimentally Induced by a Mixed Dust from Mexicali, Baja California, Mexico. *Environmental Research* 1991; 56: 31-47.
21. EPA. 1997. 1997. Imperial Valley/Mexicali Cross Border PM₁₀ Transport Study. Final Report DRI Document No. 8623.2F. Junio 30.
22. CCBRES 2001. Understanding Air Quality and Health in the Binational Air Basin of the Imperial and Mexicali Valleys. California Center for Border and Regional Economic Studies (CCBRES). Summer.
23. Programa para Mejorar la Calidad del Aire en Mexicali. Disponible en: <http://www.semarnap.gob.mx/quincenal/quincenal56/personal.htm> [accesado el 30 de enero del 2002].
24. EPA. 2001. Imperial County PM-10 Actions. Disponible en: <http://www.epa.gov/region09/air/imperial/fact0806.html> [Accesado el 30 de enero del 2002].