

# **Revista del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias**

Volumen  
*Volume*

**16**

Número  
*Number*

**1**

Enero-Marzo  
*January-March*

**2003**

*Artículo:*

## **La contaminación atmosférica en el sur de la Zona Metropolitana del Valle de México**

Derechos reservados, Copyright © 2003:  
Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias

### **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*



**Edigraphic.com**

# ***La contaminación atmosférica en el sur de la Zona Metropolitana del Valle de México***

Martha Elena Munguía Castro\*

José Pérez Neria\*

**Palabras clave:** Contaminación atmosférica, ozono, partículas suspendidas, bióxido de nitrógeno, bióxido de azufre, monóxido de carbono, Zona Metropolitana del Valle de México, salud ambiental.

**Key words:** Air pollution, ozone, suspended particles, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, carbon monoxide, Mexico City Metropolitan Area, environmental health.

## **RESUMEN**

**Introducción:** se calcula que en un año, la Ciudad de México arroja al aire alrededor de 5 millones de toneladas de contaminantes entre los que destacan el bióxido de azufre ( $SO_2$ ), el bióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), los hidrocarburos aromáticos como el benceno, estos dos últimos precursores del ozono ( $O_3$ ) y una gran variedad de partículas de origen, naturaleza y tamaño diverso; algunas de las cuales, menores de 10 $\mu g$  de diámetro aerodinámico (PM10) permanecen suspendidas en el aire y son factibles de ser respiradas y depositadas en las vías aéreas.

**Contaminación del aire y salud respiratoria:** Diferentes estudios epidemiológicos han sugerido que la exposición del hombre a niveles elevados de  $O_3$  y de PM10 se asocia con el desarrollo de enfermedades pulmonares. Otros estudios han sugerido la asociación entre mortalidad con la exposición a PM10. Con relación en lo anterior, el objetivo de esta publicación fue revisar los conceptos actuales

relativos a la asociación entre contaminación del aire y la morbilidad respiratoria y comentar la tendencia de los contaminantes más dañinos a la salud respiratoria en la zona sur de la Zona Metropolitana del Valle de México.

**Contaminación del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México.** Los reportes de la Red Automática de Monitoreo del Aire han mostrado que en los últimos años, el contaminante del aire persistentemente elevado en el sur del Valle de México es el  $O_3$ . Las PM10 muestran también cifras elevadas y tomando en cuenta que éstas son las que representan mayor riesgo a la salud, se recomienda a quienes toman decisiones concernientes a estas situaciones, establecer programas de prevención como son: controlar el manejo de la basura, las emisiones de la industria y de los vehículos automotores y, evitando los incendios forestales.

## **ABSTRACT**

**Introduction:** Mexico City produces approximately five million tons of air pollutants each year, among them, sulphur dioxide ( $SO_2$ ), nitrogen dioxide ( $NO_2$ ), aromatic hydrocarbons, such as benzene, these last two, precursors of ozone ( $O_3$ ), and a great variety of particles of diverse size, nature and origin. Some of them, with less than 10 $\mu g$  of aerodynamic diameter (PM10) remain suspended in the air and may be inhaled and deposited inside the airways.

**Air pollution and health:** Several epidemiological studies suggest that human exposition to high levels of  $O_3$  and PM10 are associated with the deve-

\* Departamento de Investigación en Salud Ambiental, INER.

### **Correspondencia:**

Martha Elena Munguía Castro. Departamento de Investigación en Salud Ambiental. Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias. Calzada de Tlalpan 4502, colonia Sección XVI. México, DF., 14080.

Fax: 56 65 46 23

Trabajo recibido: 15-X-2002; Aceptado: 13-I-2003

**lopment of respiratory diseases. Other studies suggest an association between exposure to PM10 and mortality. The purpose of this study was to revise the relation between air pollution and respiratory morbidity and mortality, and the tendency of the main pollutants in the air of the southern Mexico City Metropolitan Area.**

**Air pollution in Mexico City: The Automatic Air Monitoring Net (RAMA) has shown that the air pollutant O<sub>3</sub> is persistently elevated in Mexico City. PM10 also showed high levels and taking into account that PM10 represent a high risk to human health we recommend to launch preventive programs, to control of garbage management, the emission of industrial and motor vehicle pollutants and also the prevention of forest fires.**

## **INTRODUCCIÓN**

El contaminante ambiental es una sustancia del aire, agua o suelo que, cuando está presente en exceso disminuye la calidad o capacidad de la vida. Están presentes en el ambiente en cantidades que no dañan a plantas o animales, sin embargo, cuando exceden determinado nivel constituyen un peligro potencial o real. Este nivel, por debajo del cual no dañan la salud, se determina con fundamento en antecedentes científicos.

Los contaminantes del aire se pueden clasificar de acuerdo a su tamaño, origen, estado físico o naturaleza química. Pueden ser átomos, moléculas o compuestos, orgánicos o inorgánicos, iones o radicales libres, mezclas o agregados, partículas o emulsiones, físicos, químicos o biológicos, de origen natural o artificial, generados por fuente móvil o estacionaria, primarios o secundarios, extramuros o intramuros.

Los volcanes, por ejemplo, son fuentes naturales que emiten óxidos de azufre (SO<sub>2</sub>) y partículas; las tormentas eléctricas que generan ozono (O<sub>3</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>); los animales que producen bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e hidrogeniones (H<sup>+</sup>) y la erosión, deforestación y sequías que generan partículas esparradas por el viento.

Ejemplo de fuentes artificiales son algunas industrias que emiten NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, así como partículas. Los motores de combustión interna que emiten monóxido de carbono (CO), NO<sub>2</sub> e hidrocarburos (HC) y producen ruido. La combustión de carbón, leña, o basura que genera CO, partículas y SO<sub>2</sub>. Otros contaminantes son los sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>), los nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), el ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) y el ácido sulfúrico (HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>) que resultan principalmente de la combustión de carbón y biomasa. El humo producido por la combustión del tabaco es el contaminante más importante intramuros y genera partículas suspendidas de nafthaleno, fenantreno, antraceno, pyreno, fenol, nitrosamina, anilina, varios ácidos grasos e hidrocarburos aromáticos policíclicos y de metales pesados como el plomo. Algunos se ha comprobado científicamente son cancerígenos como los bencenos, las nitrosaminas, el formaldehído, y el etil-

carbamato. También genera gases, algunos de ellos dañinos a la salud como el monóxido de carbono, el cianuro de hidrógeno, el amonio, el acetileno, el ácido fórmico, el formaldehído, el ácido acético, la acetona y el acetaldehído, entre otros<sup>1</sup>.

No es común encontrar un contaminante aislado, generalmente se observan en forma de mezclas o agregados, y además es importante considerar las interacciones de los contaminantes del aire con otros factores como por ejemplo, con la humedad o con la radiación solar.

## **La calidad del aire**

Lograr una buena calidad del aire depende de factores económicos, políticos y socioculturales y, requiere la coordinación de diferentes sectores como salud, educación, ecología, desarrollo urbano, obras públicas, energía, industria, transporte, iniciativa privada y población en general.

Las normas o reglamentos que se dictan para mantener la buena calidad del aire tienen por objeto proteger la salud y el equilibrio ecológico y contemplan como elementos fundamentales: la gravedad del efecto, el número de personas afectadas y las variantes de la exposición a corto o largo plazo. Por otra parte, para establecer las normas de los contaminantes del aire es imprescindible conocer su comportamiento en áreas geográficas específicas.

**Objetivo:** Orientar a los grupos de investigadores que trabajan sobre este tema acerca de los conceptos actuales que se establecen acerca de la relación entre contaminantes del aire y la morbilidad respiratoria y, revisar la tendencia de los principales contaminantes atmosféricos en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) en los últimos años.

## **LA CIUDAD DE MÉXICO**

Se encuentra ubicada en una cuenca a 2,240m de altura sobre el nivel del mar. El clima se caracteriza por madrugadas frías y medios días calurosos y como sucede en valles similares, durante la noche la temperatura en las laderas de las montañas aumenta a medida que se asciende, lo cual guarda una relación inversa al comportamiento habitual. Este fenómeno determina la inmovilidad de la capa de aire frío próximo al suelo, la cual concentra los contaminantes generados por la actividad industrial y el tránsito vehicular del día anterior. Esta capa se empieza a movilizar hasta que el sol la calienta, se eleva, desaparece la inversión térmica y se dispersan los contaminantes.

Durante el desarrollo histórico de nuestra nación, en la Ciudad de México se concentró cada vez más la actividad económica, política, religiosa, cultural y social y, este centralismo heredado a lo largo de centurias, propició la aglomeración que caracteriza a la actual zona metropolitana que incluye la ciudad y zonas conurbadas del Estado de México. Se instalaron industrias, el asfalto sustituyó al pastizal y el concreto a los bosques. Los desechos industriales, los de servicios y los de las fuentes móviles contaminaron la tierra, el agua y el aire. Actualmente, se calcula

que en un año la ciudad arroja al aire alrededor de cinco millones de toneladas de contaminantes, entre los que destacan los NO<sub>2</sub>, los SO<sub>2</sub>, los óxidos de carbono, los hidrocarburos aromáticos como el benceno y una gran variedad de partículas de origen, naturaleza y tamaño diverso, algunas de las cuales, menores de 10µg de diámetro, permanecen suspendidas en el aire y son factibles de ser respiradas y depositadas en las vías aéreas<sup>2</sup>.

La elevada radiación ultravioleta sobre el valle de México que, se explica por el frecuente número de días soleados y la menor densidad y grosor de la capa protectora de aire, determina la transformación de las moléculas de bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y de HC, en O<sub>3</sub>.

El O<sub>3</sub> es el contaminante más abundante, especialmente en la zona suroeste, lo cual se debe a que los débiles vientos predominantes se dirigen del noreste al suroeste y en el transcurso de su desplazamiento se desarrolla la reacción fotolítica referida.

### **EL IMECA**

En México, para cada uno de los contaminantes se ha asignado una escala de 0 a 500, denominada IMECA, en la cual 100 puntos equivalen al nivel permitido, tanto en concentración como en duración. Por abajo de 100, en un tiempo determinado, no existe riesgo para la integridad de la vida vegetal y animal; en cambio, concentraciones superiores a 100 en un tiempo determinado representan un riesgo cada vez mayor.

En la Tabla I se muestran valores de la escala IMECA para los principales contaminantes del aire de la ZMVM, O<sub>3</sub>, bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), NO<sub>2</sub>, CO, partículas suspen-

didas totales (PST), partículas suspendidas menores de 10µg de diámetro (PM10) y plomo (Pb).

### **NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE**

Las normas de calidad del aire nacionales se circunscriben a estos contaminantes porque son los que mide la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) de la Secretaría del Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. De todos estos contaminantes del aire, tanto las investigaciones nacionales como internacionales han mostrado fehacientemente que las principales partículas que ejercen un efecto nocivo sobre la salud respiratoria son el O<sub>3</sub> y las PM10.

### **CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y SALUD RESPIRATORIA**

Diferentes estudios epidemiológicos han sugerido que la exposición del hombre a los contaminantes del aire se asocia con el desarrollo de enfermedad pulmonar y con una prevalencia elevada de síntomas como tos y expectoración<sup>3-5</sup>. Otros estudios han sugerido la asociación entre la mortalidad con la exposición a altas concentraciones de las PM10<sup>6-9</sup>.

Hay numerosas investigaciones cuyos resultados evidencian una correlación positiva entre exposición a contaminantes del aire y daños a la salud. Concretándonos a los que se miden en la RAMA, estas investigaciones muestran que existe una relación entre inflamación bronquial aguda y aumento de la reactividad bronquial por la exposición aguda a concentraciones horarias de O<sub>3</sub> superiores a 0.08ppm, especialmente en niños y adolescentes duran-

**Tabla I. Normas oficiales de calidad de aire.**

Contaminante	Norma
Monóxido de carbono	NOM-021-SSA1-1993 11ppm como promedio móvil de 8 horas (12595µg/m <sup>3</sup> ) comprimido. Promedio móvil de 8 horas hasta 1994
Ozono(O <sub>3</sub> )	NOM-020-SSA1-1993 0.11ppm como promedio de una hora (216µ/m <sup>3</sup> )
Bióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	NOM-023-SSA1-1993 0.21ppm como promedio de una hora (395µg/m <sup>3</sup> )
Bióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	NOM-022-SSA1-1993 0.13ppm como promedio móvil de 24 horas (341µg/m <sup>3</sup> )
Partículas suspendidas totales (PST)	NOM-024-SSA1-1993 260µg/m <sup>3</sup> como muestreo de 24 horas a partir de enero de 1995 y 275µg/m <sup>3</sup> hasta diciembre de 1994
Partículas suspendidas fracción respirable (PM10)	NOM-025-SSA1-1993 150µg/m <sup>3</sup> como promedio móvil de 24 horas a partir de 1995 y 150µg/m <sup>3</sup> como muestreo de 24 horas hasta diciembre de 1994
Plomo (Pb)	NOM-026-SSA1-1993 1.5µg/m <sup>3</sup> como promedio trimestral

te el ejercicio. En cambio, el efecto sobre la salud del intervalo entre 0.05 a 0.08ppm promedio de una hora no está bien dilucidado. Höppe y colaboradores<sup>10</sup> estudiaron 44 niños de un campamento y registraron sintomatología y espirometría, separando los resultados en dos grupos: "días de ozono" y "días controles". Definieron "días de ozono" como aquellos en los cuales se registró en alguna hora, una concentración superior a 0.05ppm y "días controles" a aquellos en los cuales no se excedió 0.04 ppm. Observaron que en los "días de ozono" que promediaron en total 0.079ppm, el registro de irritación de ojos, nariz y vías aéreas fue mayor y la capacidad vital forzada (FVC) y el volumen espirado en el primer segundo (FEV<sub>1</sub>) fue menor comparado con los "días control". En la Ciudad de México, Castillejos y colaboradores<sup>11</sup> estudiaron escolares de primaria durante el ejercicio y encontraron aumento de sintomatología y disminución de FEV<sub>1</sub> asociada al aumento de la concentración de O<sub>3</sub>. Desde otro punto de vista, el estructural, Calderón y colaboradores<sup>12</sup> estudiaron la biopsia de mucosa nasal en marinos mexicanos agrupados en: I) marinos residentes en el puerto de Veracruz, II) marinos asignados a la Ciudad de México, pero con menos de un mes de residencia en esta ciudad y, III) marinos con prolongada residencia en la Ciudad de México. En el grupo III, encontraron mayor proporción de alteraciones tales como hiperplasia basal, metaplasia escamosa, queratinización y atrofia, lo cual fue atribuido a la exposición a O<sub>3</sub>, aunque es probable que estas alteraciones pudieran estar más bien asociadas al sinergismo entre O<sub>3</sub> y PM10. Estos mismos autores<sup>13</sup> mostraron la presencia de inflamación de la mucosa nasal en niños expuestos a los contaminantes del aire de la Ciudad de México. En el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER), Montaño y colaboradores<sup>14</sup> estudiaron la respuesta bronquial mediante provocación por acetilcolina, en anillos bronquiales *in vitro* de perros, y observaron hiperreactividad bronquial cuando la preparación se exponía previamente a 0.3ppm de O<sub>3</sub>, en comparación a los controles. Por el contrario, no se ha encontrado suficiente evidencia que asocie mortalidad diaria con exposición a O<sub>3</sub>. En el estudio de las seis ciudades, Dockery<sup>6</sup> no encuentra asociación entre mortalidad diaria y concentraciones de O<sub>3</sub>. De hecho, en los trabajos en los cuales se ha observado asociación entre O<sub>3</sub> y mortalidad diaria, el O<sub>3</sub> ha estado ligado a PM10 y por lo tanto puede tratarse de sinergismo positivo entre los dos contaminantes. Por otra parte, estudios realizados en el INER, Hanssen y colaboradores<sup>15</sup> observaron que la concentración de O<sub>3</sub> intramuros en habitaciones con la ventilación habitual es, en promedio, cinco veces menor con relación al O<sub>3</sub> exterior, circunstancia que permite proteger a los grupos de riesgo recluyéndolos en interiores en el caso de una contingencia por este contaminante.

En resumen, el efecto de la exposición aguda a concentraciones entre 0.08 y 0.10ppm de O<sub>3</sub> en una hora, se caracteriza por inflamación e hiperreactividad bronquial en

los grupos "sensibles" y no está relacionado con mortalidad. El común denominador de estas respuestas es la inflamación, la cual es desencadenada por la generación de radicales libres (hidroxilo, anión superóxido) al entrar en contacto el O<sub>3</sub> con el epitelio de las vías respiratorias.

En lo que corresponde a partículas suspendidas, existe evidencia que apoya la asociación entre partículas suspendidas totales (PST) y sobre todo PM10 con mortalidad diaria, especialmente en personas mayores de 65 años de edad o con problemas crónicos respiratorios o cardiovasculares. En el estudio de las seis ciudades de Estados Unidos, Dockery D y colaboradores<sup>6</sup> observaron asociación entre concentración de PST y PM10 con mortalidad diaria. Esta asociación fue más evidente con PM10. El riesgo relativo de mortalidad más alto correspondió a Steubenville, Ohio, que tiene la concentración más alta de PM10. En esta misma ciudad, Schwartz y colaboradores<sup>8</sup> encontraron asociación entre niveles de partículas con mortalidad diaria. En Filadelfia, Schwartz y colaboradores<sup>7</sup> al estratificar por grupo de edad y por causa de muerte, observaron mayor riesgo relativo de mortalidad en mayores de 65 años y en enfermos con enfermedad pulmonar obstructiva crónica cuando la concentración de partículas aumentaba a 100µg/m<sup>3</sup>. En el valle de Utah, Pope y colaboradores<sup>9</sup> encontraron asociación entre mortalidad diaria y niveles de PM10, importante a partir de 100µg/m<sup>3</sup>. Una consideración importante es que a diferencia del O<sub>3</sub> las concentraciones intramuros de PM10 son semejantes a las extramuros (Peters JM, y colaboradores)<sup>16</sup>, lo cual cambia definitivamente la estrategia para protegerse de este contaminante. En un trabajo del INER en colaboración con el Instituto Nacional de Perinatología<sup>17</sup>, los investigadores expusieron un lote de 10 cobayos de las 8 a las 16 horas (en la azotea del INER) a respirar el aire de la zona suroeste de la Ciudad de México. Otro lote de diez cobayos sirvió de control y respiraron aire filtrado. Al cabo de tres meses se sacrificaron y se estudiaron los pulmones mediante microscopía electrónica. En el grupo control no se hallaron alteraciones importantes y en cambio en el experimental se encontraron: pérdida de cilios, desprendimiento de células epiteliales hacia la luz bronquiolar, infiltración de eosinófilos hacia el espacio alveolar a través de neumocitos I con destrucción de las membranas basales e infiltración de macrófagos en el espacio alveolar. En un espécimen se observaron abundantes bacterias en el epitelio bronquiolar. Estos hallazgos se atribuyeron a alteraciones generadas por exposición a partículas suspendidas menores de 2.5µg de diámetro aerodinámico (PM2.5) ya que estas partículas son las que llegan hasta bronquiolos respiratorios y sacos alveolares.

### **LOS CONTAMINANTES DEL AIRE EN LA ZMVM**

Al revisar los reportes de la RAMA de los últimos cinco años se puede apreciar que las concentraciones de los contaminantes del aire que persistentemente excedieron

el nivel permisible establecido por la NOM-020-SSA1-1993, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de diciembre de 1994, en el aire del sur de la ZMVM fueron el O<sub>3</sub> y las PM10.

El SO<sub>2</sub> y el CO, prácticamente se mantuvieron por debajo de la norma en estos últimos cinco años en el aire del sur de la Ciudad de México.

En resumen, el riesgo para la salud por contaminación atmosférica en la ZMVM, lo constituyen el O<sub>3</sub> y las PM10.

Recordemos que el O<sub>3</sub> es uno de los agentes oxidantes más potentes que existen en la troposfera, sólo el flúor, el oxígeno atómico y el fluoruro de oxígeno tienen mayores potenciales redox. El O<sub>3</sub> existente en el ambiente es producto de diferentes fuentes, una es la intrusión de éste desde la estratosfera, especialmente en verano cuando el intercambio de estratosfera/troposfera es mayor. Otra fuente es producto de reacciones fotoquímicas secuenciales complejas por efecto de la radiación actínica. Los vapores orgánicos fotorreactivos como los hidrocarburos olefinicos, m-xileno y formaldehído originados por actividades antropogénicas y el metano que, es un producto mayor de decadencia biogénica natural contribuyen grandemente en la formación de O<sub>3</sub>. Por otra parte, también pueden contribuir a la formación de O<sub>3</sub> el isopreno y el terpeno emitidos por algunos árboles, especialmente el eucalipto. Las concentraciones de NO<sub>2</sub>, precursor del O<sub>3</sub>, han aumentado continuamente por el incremento del uso de combustibles fósiles. El O<sub>3</sub> requiere de la energía solar para su formación, particularmente de los rayos ultravioleta cuyos niveles más altos se registran al mediodía y al inicio de la tarde. Ya que el O<sub>3</sub> es altamente reactivo, su concentración al nivel del suelo disminuye marcadamente durante la noche.

Esta es la explicación más viable de los altos niveles persistentes de O<sub>3</sub> que observamos en el aire de la zona sur de la Ciudad de México. Esta ciudad recibe durante todo el año, una importante cantidad de radiación ultravioleta debido a dos circunstancias: muchos días soleados y su altitud sobre el nivel del mar (2,240m), lo que implica menor grosor de la capa atmosférica que filtra este tipo de radiación actínica. Por supuesto que para que se produzca el O<sub>3</sub> es necesaria la formación de sus principales precursores el NO<sub>2</sub> e hidrocarburos, lo cual presume su emisión a la atmósfera, tanto por las industrias localizadas en el norte de la ciudad, como por los escapes de la planta vehicular obsoleta que circula por esta metrópoli.

## DISCUSIÓN

Consideramos importante enfatizar en nuestra discusión un comentario práctico. La principal ruta de exposición al O<sub>3</sub> es la inhalada y, como ya se mencionó las concentraciones extramuros sobre todo cerca del tráfico vehicular sobrepasan a las observadas intramuros. Las bajas concentraciones intramuros de O<sub>3</sub> son atribuidas a la reacción de este contaminante con diversas superficies. Durante el movimiento convectivo natural al aire dentro

de los edificios, el O<sub>3</sub> es removido en reacciones con el agua presente en las paredes, las telas y otras superficies<sup>15</sup>. Por estas razones, permanecer intramuros o cerrar las ventanillas de los automóviles, son medidas protectoras contra la exposición al O<sub>3</sub> durante contingencias por este contaminante. Para muchas personas la exposición extramuros es baja, ya que la mayor parte del tiempo permanecen intramuros, sin embargo, algunas personas por sus actividades y ocupaciones constituyen grupos de alto riesgo como por ejemplo, trabajadores de la construcción, oficiales de tránsito, barrenderos y niños que realizan actividades extramuros.

Otro comentario útil desde el punto de vista práctico, es la realización de actividad física extramuros, la cual implica aumento de la ventilación pulmonar. Ésta incrementa en forma paralela el riesgo para la salud cuando se registran elevación de la concentración de O<sub>3</sub> extramuros. Por lo tanto, en períodos de contingencia por O<sub>3</sub> es recomendable limitar el ejercicio físico y las actividades escolares extramuros.

Por último, la explicación de los resultados elevados de concentraciones de PM10 y en general el que se observa al revisar los reportes de la RAMA de las partículas suspendidas en el aire, se puede explicar por la combinación entre dirección de los vientos predominantes en la cuenca de la ZMVM y la presencia de áreas deforestadas y erosionadas hacia el norte de esta zona metropolitana. Además, consideramos que también influye en este resultado, el deficiente manejo de los desechos y la presencia de basureros al aire libre en estas mismas áreas situadas al norte de la ciudad.

## CONCLUSIONES

El O<sub>3</sub> y las PM10 son los que con mayor frecuencia exceden la norma en la Ciudad de México, los esfuerzos de las autoridades que toman decisiones deberán dirigirse a la prevención de la emisión de los precursores del O<sub>3</sub>, controlando las industrias y los vehículos automotores; y a la prevención de la dispersión de PM10, controlando el manejo de la basura, reforestando las áreas dañadas que circundan la ciudad, evitando incendios forestales y mejorando la calidad de la planta vehicular que circula en la urbe.

## REFERENCIAS

1. Huber GL. *Physical, chemical, and biologic properties of tobacco, cigarette smoke, and other tobacco products*. Semin Respir Med 1989;10:297-332.
2. Pérez NJ. *La contaminación del aire en la zona metropolitana de la Ciudad de México*. Rev Inst Nal Enf Resp Mex 1992;5:63-65.
3. Romieu Y, Meneses F, Sienra-Monge JJ, Huerta J, Ruiz-Velasco S, White MC, et al. *Effects of urban air pollutants on emergency visits for childhood asthma in Mexico City*. Am J Epidemiol 1995;141:546-553.

4. Hernández-Garduño E, Pérez-Neria J, Paccagnella AM, Piña-García MA, Munguía-Castro M, Catalán-Vázquez M, et al. *Air pollution and respiratory health in Mexico City*. J Occup Environ Med 1997;39:299-307.
5. Holtzman MJ, Cunningham JH, Sheller JR, Irsigler GB, Nadel JA, Boushey HA. *Effect of ozone on bronchial reactivity in atopic and non-atopic subjects*. Am Rev Respir Dis 1979;120:1059-1067.
6. Dockery DW, Pope CA, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, et al. *An association between air pollution and mortality in six US cities*. N Engl J Med 1993;329:1753-1759.
7. Schwartz J, Dockery DW. *Increased mortality in Philadelphia associated with daily air pollution concentrations*. Am Rev Respir Dis 1992;145:600-604.
8. Schwartz J, Dockery DW. *Particulate air pollution and daily mortality in Steubenville, Ohio*. Am J Epidemiol 1992;135:12-20.
9. Pope CA, Schwartz J, Ramson MR. *Daily mortality and PM10 pollution in Utah Valley*. Arch Environ Health 1992;47:211-217.
10. Höppe P, Rabe G, Praml G, Fruhmann G. *Lung function decrements of healthy children on day with moderately elevated ozone concentrations*. Am J Respir Crit Care Med 1997;155:A427.
11. Castillejos M, Gold DR, Damokosh AI, Serrano P, Allen G, McDonnell WF, et al. *Acute effects of ozone on the pulmonary function of exercising schoolchildren from Mexico City*. Am J Respir Crit Care Med 1995;152:1501-1507.
12. Calderón-Garcidueñas L, Osorno-Velázquez A, Bravo-Álvarez H, Delgado-Chávez R, Barrios-Márquez R. *Histopathologic changes of the nasal mucosa in southwest metropolitan México City inhabitants*. Am J Pathol 1992;140:225-232.
13. Calderon-Garcidueñas L, Rodriguez-Alcaraz A, Garcia R, Ramirez L, Barragan G. *Nasal inflammatory responses in children exposed to a polluted urban atmosphere*. J Toxicol Environ Health 1995; 45:427-437.
14. Montaño LM, Jones GL, O'Byrne PM, Daniel EE. *Effect of ozone exposure in vivo on response of bronchial rings in vitro: role of intracellular Ca<sup>2+</sup>*. J Appl Physiol 1993;75:1315-1322.
15. Hanssen-Villegas D, Pérez-Neria J, Rojas-Ramos M, Hernández-Garduño E, Carvajal Sandoval G. *Contaminación del aire en interiores. Comparación simultánea de la concentración del ozono intra y extramuros*. Rev Inst Nal Enf Resp Méx 1994;7:14-20.
16. Peters JM, Avol E, Navidi W, London SJ, Gauderman WJ, Lurmann F, et al. *A study of twelve southern California communities with differing levels and types of air pollution. I. Prevalence of respiratory morbidity*. Am J Respir Crit Care Med 1999;159:760-767.
17. Villegas- Castrejón H, Villalba-Caloca J, Meneses-Flores M, Haselbarth-Lopez MM, Flores Rivera E, Pérez-Neria J. *Transmission electron microscopy finding in the respiratory epithelium of guinea pigs exposed to the polluted air of southwest México City*. J Environ Pathol, Toxicol, Oncol, 1999;18:323-334.

