



## ESTUDIO SOBRE EL ÍNDICE METROPOLITANO DE LA CALIDAD DEL AIRE (IMECA) Y SU VALORACIÓN A NIVEL INTERNACIONAL

Juan I. Corujo, Raúl Medina, y Claudia Montes  
Centro de Investigación, Universidad La Salle

### RESUMEN

El Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) fue estudiado a partir de datos proporcionados por SEDESOL desde 1990 a 1992. Mediante los datos obtenidos, fue posible elaborar gráficas que permitieron un análisis visual de las condiciones de la calidad del aire en la ciudad de México, tanto por zonas geográficas como por contaminante. Se observa una disminución gradual de contaminantes de 1990 a 1992, aunque aún dentro de concentraciones que sobrepasan las recomendaciones de la OMS.

A su vez, el IMECA mexicano fue valorado a nivel internacional mediante datos proporcionados por el PNUMA. Se observaron drásticas diferencias entre los puntos de quiebre de IMECA de México y otros países, violándose las recomendaciones de la OMS al respecto.

Es necesario dar a conocer a la población la realidad sobre los valores IMECA, el por qué de su modificación a las normas de la OMS, y los verdaderos peligros a que se enfrenta el habitante de la ciudad de México. Es necesario tomar medidas drásticas para asegurar la salud de los capitalinos, si bien estas medidas podrían ser de carácter motivacional, en vez de obligatorio.

### INTRODUCCIÓN

Un índice de calidad del aire se puede definir como una función de transformación de los datos de niveles de concentración de contaminantes a un valor simple, representativo de la calidad del aire en una región determinada.

El IMECA (Índice Metropolitano de la Calidad del Aire) posee valores numéricos que permiten relacionar el grado de contaminación atmosférica con los posibles efectos en la salud, en una forma accesible a la población.

El IMECA fue establecido por la extinta Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente y fue elaborado con la asesoría del Dr. Wayne Ott, distinguido científico de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. En un inicio, el índice fue nombrado IMEXCA (Índice Mexicano de la Calidad del Aire) y posteriormente, a partir de 1986, se particularizó para la Zona Metropolitana de la ciudad de México, tomando el nombre de IMECA.

La base científica del IMECA se remonta a los trabajos de Ott y Thom, quienes en 1972 desarrollaron un índice urbano estandarizado de calidad del aire (SUAQI) que posteriormente recibió el nombre de Índice Estandarizado de Contaminación (PSI), el cual fue adoptado en los Estados Unidos como índice nacional uniforme de calidad del aire, a partir de 1979.

Fundamentalmente, el IMECA tiene la función de mantener informada a la población sobre la calidad del aire en la Zona Metropolitana de la ciudad de México, así como observar el comportamiento de los distintos contaminantes y comparar la calidad del aire entre zonas que utilicen índices similares.

El IMECA consta de dos algoritmos de cálculo fundamentales; el primero, para la obtención de los subíndices correspondientes a diferentes indicadores de la calidad del aire, y el segundo, para la combinación de éstos en un índice global.



El primer algoritmo involucra la utilización de funciones segmentadas basadas en dos puntos de quiebre principales, los cuales se obtuvieron a partir de los criterios mexicanos de calidad del aire y de niveles para los cuales existen evidencias de que ocurren daños significativos a la salud. Se le asignó arbitrariamente el valor de 100, mientras que al segundo el de 500; entre estos dos puntos se definieron tres más, los cuales tienen por objeto clasificar el intervalo en diferentes términos descriptivos de la calidad del aire.

El valor de 100 representa la calidad del aire considerada como adecuada para la protección de la salud de la población y corresponde a los valores de los Criterios de Calidad del Aire; el de 500, a una situación en la cual la ciudadanía puede verse afectada.

Así, los valores del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire, junto con sus descriptores, se presentan en la tabla No 1:

**TABLA No.1**  
**Valores IMECA y sus efectos previsibles en la población**

IMECA	CALIDAD DEL AIRE	EFFECTOS
0 - 100	Satisfactoria	Situación favorable para la realización de todo tipo de actividades físicas.
101 - 200	No satisfactoria.	Molestias menores en personas sensibles.
201 - 300	Mala.	Aumento de molestias e intolerancia relativa al ejercicio en personas con padecimientos respiratorios.
301 - 500	Muy mala.	Aparición de diversos síntomas e intolerancia al ejercicio en la población sana.

La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología cuenta con un sistema de monitoreo atmosférico en la Zona Metropolitana de la ciudad de México (ZMCM), integrado por una red manual y una red automática. Dicho sistema fue diseñado con base en la experiencia adquirida por la extinta Subsecretaría del Mejoramiento del Ambiente, así como en los criterios internacionales respaldados por la Organización Mundial de la Salud y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

La Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) fue instalada por la SEDUE durante 1984; realizó un período de pruebas a partir de 1985, e inició su operación continua en octubre de 1986. La RAMA consta de 25 estaciones a lo largo de la zona metropolitana, en donde se miden los siguientes contaminantes y parámetros meteorológicos: bióxido de azufre, bióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, ozono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y partículas suspendidas totales, así como temperatura, dirección y velocidad del viento.

De las 25 estaciones de monitoreo, únicamente 5 miden la totalidad de los parámetros arriba mencionados, colocadas en forma estratégica a lo largo de la ciudad: Tlalnepantla, Xalostoc, Merced, Pedregal y Cerro de la Estrella.

## METODOLOGÍA

Se visitaron las siguientes dependencias oficiales:

- Oficina Regional para América Latina y el Caribe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA-ORLAC), con la finalidad de obtener información sobre los valores IMECA internacionales; y

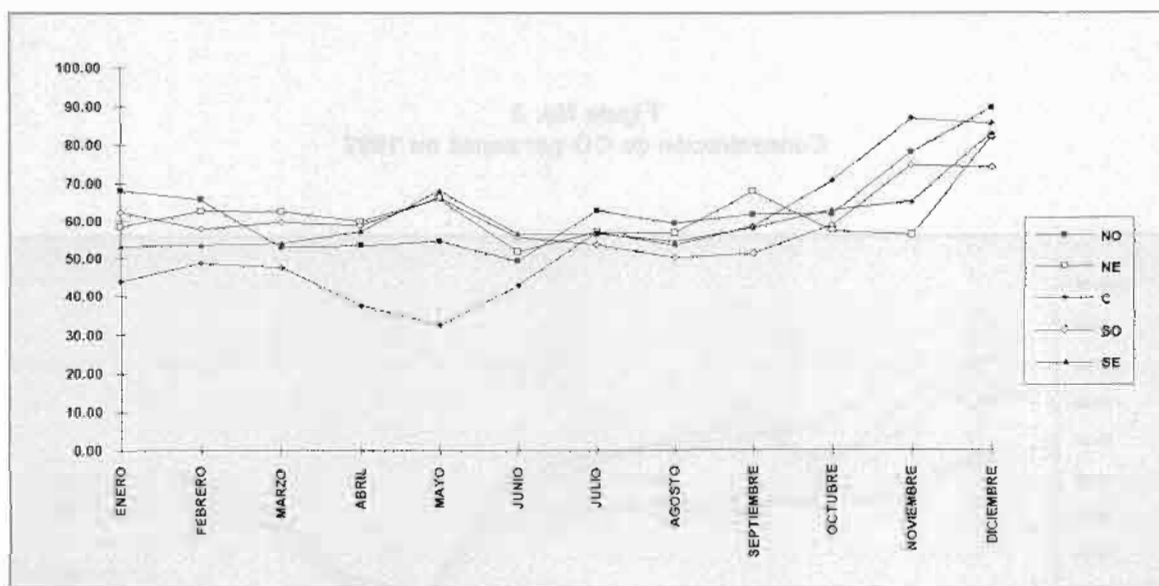
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), para obtener los registros diarios del IMECA desde 1990 hasta finales de 1992. Mediante la captura de estos datos (cerca de 27,000) y su posterior análisis estadístico, se elaboraron gráficas que permitieron un análisis visual de las condiciones de la calidad del aire en la ciudad de México, tanto por zonas geográficas como por contaminante.

## RESULTADOS

a) Estudio de los diferentes contaminantes por zonas geográficas y su riesgo en la salud.

- **MONÓXIDO DE CARBONO (CO):** En las figuras No. 1-3 se puede observar el comportamiento del CO de 1990-1992. Durante 1990, se observó una concentración estable desde enero a octubre. En los últimos dos meses del año, se observa un aumento generalizado hasta llegar a un valor máximo de 89.03 IMECAs en la zona noroeste. El valor mínimo (32.42) se originó durante el mes de mayo en la zona centro.

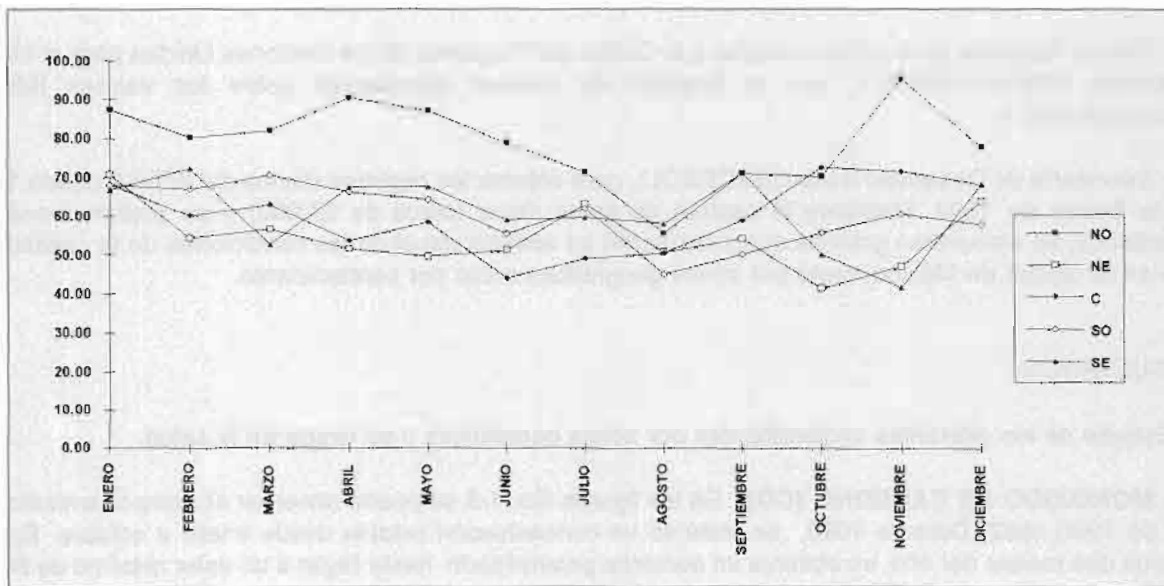
Figura No.1  
Concentración de CO por zonas en 1990



Durante 1991 (figura No. 2), se observa una concentración de CO estable a lo largo del año, pero con grandes variaciones dentro de cada zona. El valor IMECA más alto (95.50) se alcanzó en el mes de noviembre en la zona noroeste y el más bajo (41.52) se registró durante el mes de octubre en la zona sureste. En general, la zona con una mayor concentración promedio fue la noroeste, mientras que la noreste registró los valores más bajos.

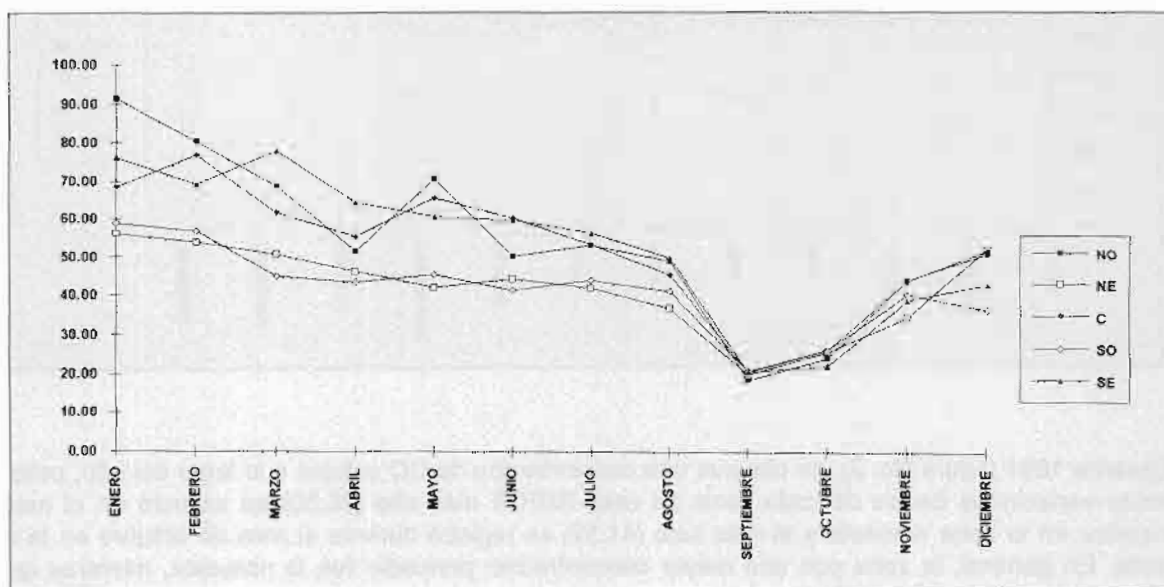


Figura No. 2  
Concentración de CO por zonas en 1991



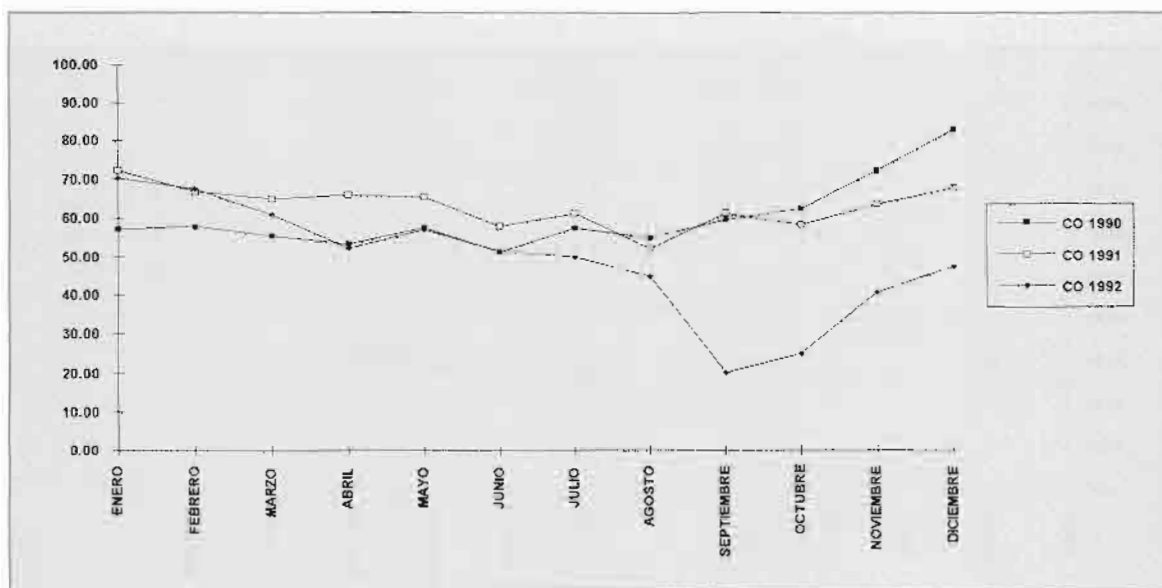
Durante 1992 (figura No. 3), se observa una disminución constante de enero a septiembre con un aumento en los tres últimos meses del año hasta alcanzar en diciembre una concentración similar a la registrada en agosto. En enero se alcanzó en la zona noroeste el mayor valor IMECA (91.40) y en septiembre, todas las zonas obtuvieron un valor mínimo de 20.27.

Figura No. 3  
Concentración de CO por zonas en 1992



En la figura No. 4 se observa el comportamiento del CO a lo largo de 1990-1992, promediando los valores obtenidos en las diferentes zonas geográficas de la ciudad de México.

Figura No. 4  
Concentración de CO en promedio mensual de 1990 a 1992



La tendencia general de este contaminante durante los años de 1990 y 1991 fue de estabilidad entre los 55 y los 73 puntos entre enero y agosto, registrándose aumentos considerables durante el último trimestre del año. En 1992 se registró una disminución constante de enero a agosto, seguido de un aumento durante el último trimestre del año.

El monóxido de carbono proviene en un 90% de los automóviles, camiones y otros vehículos de motor de combustión interna. El CO que llega a los pulmones se combina con la hemoglobina para formar carboxihemoglobina. Esta reacción no es reversible, por lo que el CO se une firmemente con la hemoglobina y evita el transporte normal del oxígeno a través de la sangre. Afecta también al sistema nervioso central: incapacidad para determinar o distinguir a intervalos de tiempo, fallas en la agudeza visual, en la discriminación de la brillantez, y algunas otras funciones motoras. En dosis elevadas (entre 10 - 80% de la composición del aire) puede llegar a producir dolores de cabeza, fatiga, somnolencia, coma, falla respiratoria y la muerte.

La OMS recomienda un límite de exposición máxima de CO de 10 ppm en 8 horas. Este valor equivale a un valor IMECA de 71, mismo que, observando las figuras No. 1-3, es rebasado en varias zonas en algunos meses del año. Sin embargo, el CO no es un contaminante que se encuentre en cantidades elevadas a lo largo del año, y por tanto, no presenta un riesgo elevado para la población.

- **BIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO<sub>2</sub>):** En las figuras 5-7 se puede observar el comportamiento del NO<sub>2</sub> de 1990 - 1992. De enero a septiembre de 1990, este contaminante mostró una muy ligera disminución con altas variantes en las diferentes zonas. En el último trimestre del año, vuelve a sufrir un ligero incremento. La zona centro registró en enero el valor anual máximo (85.60), lo cual representa el doble de la dosis recomendada por la OMS. El valor IMECA mínimo (17.17) se registró en la zona noroeste en junio.



Durante 1991, se observó un comportamiento similar en las concentraciones de este contaminante. En diciembre, la zona centro registró el valor máximo alcanzado (71.67), mientras que el valor mínimo (16.93) se registró en la zona noroeste durante el mes de junio.

Figura No. 5  
Concentración de  $\text{NO}_2$  por zonas en 1990

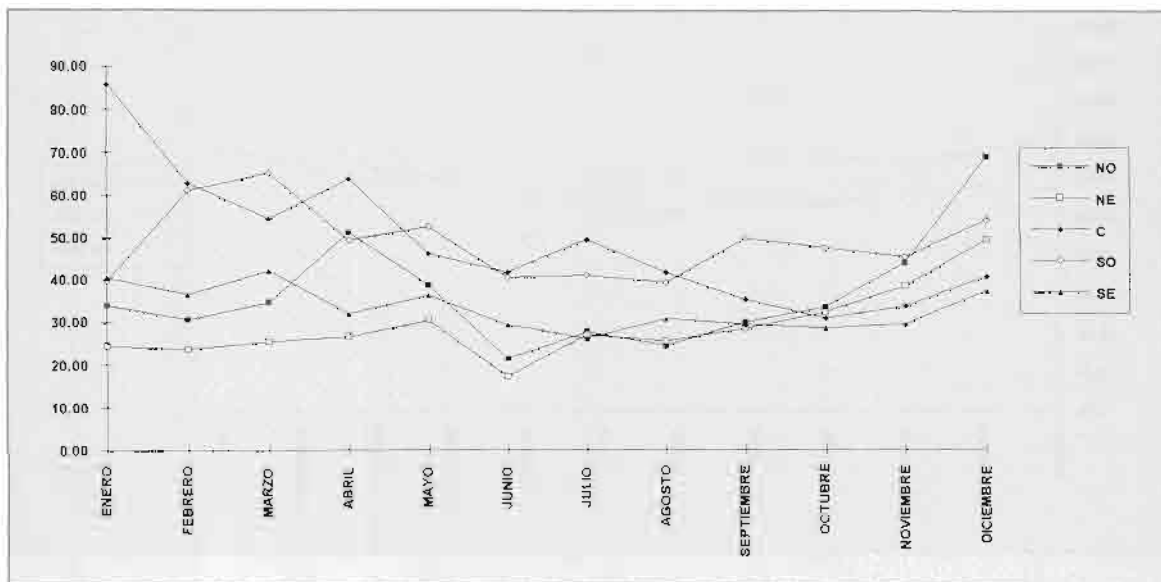
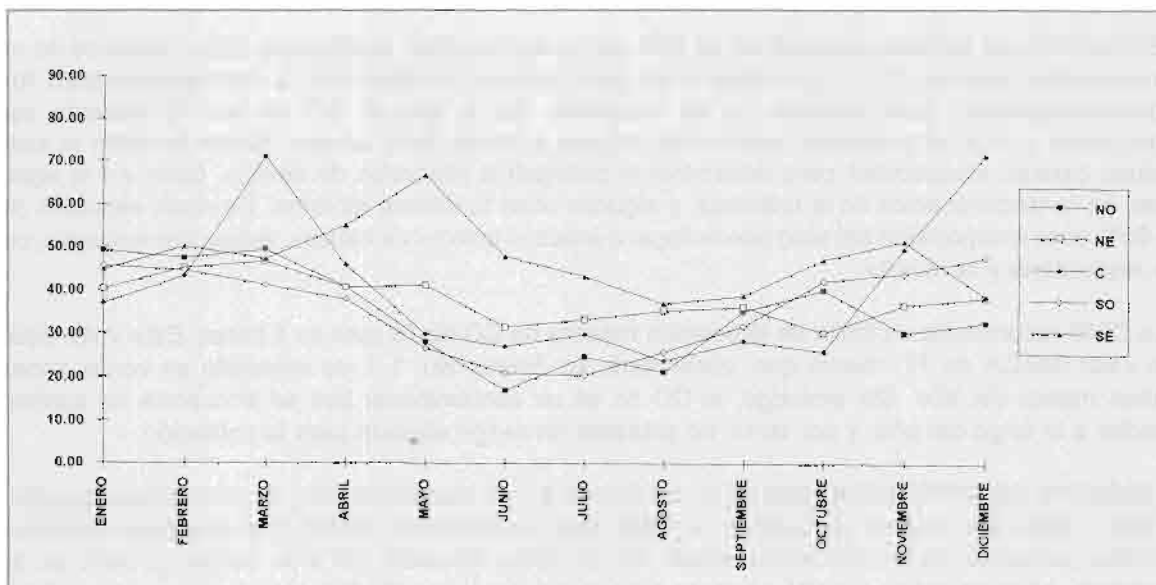
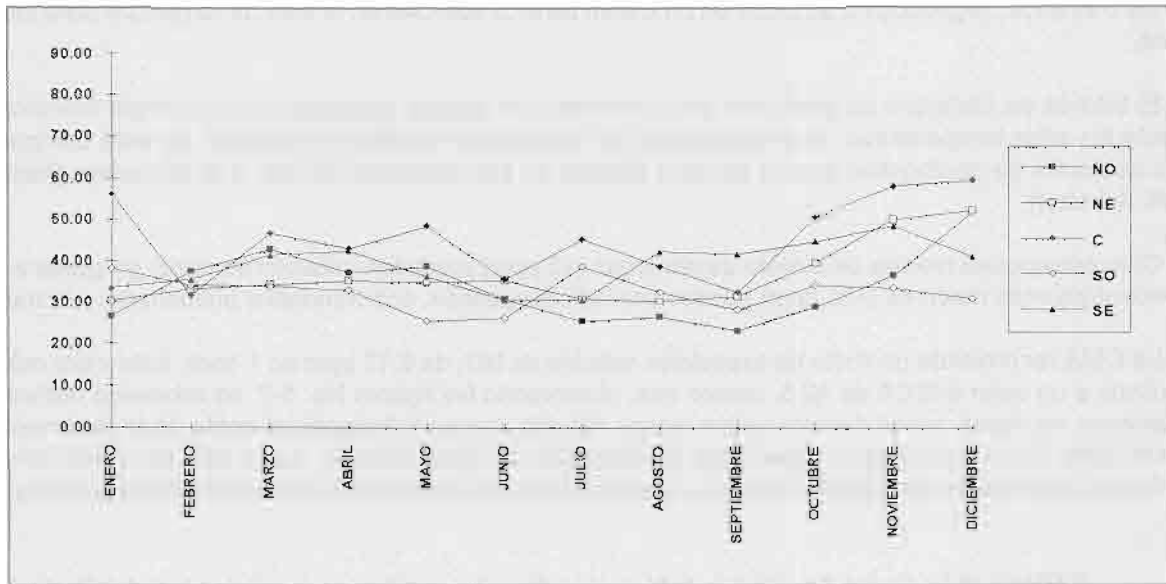


Figura No. 6  
Concentración de  $\text{NO}_2$  por zonas en 1991



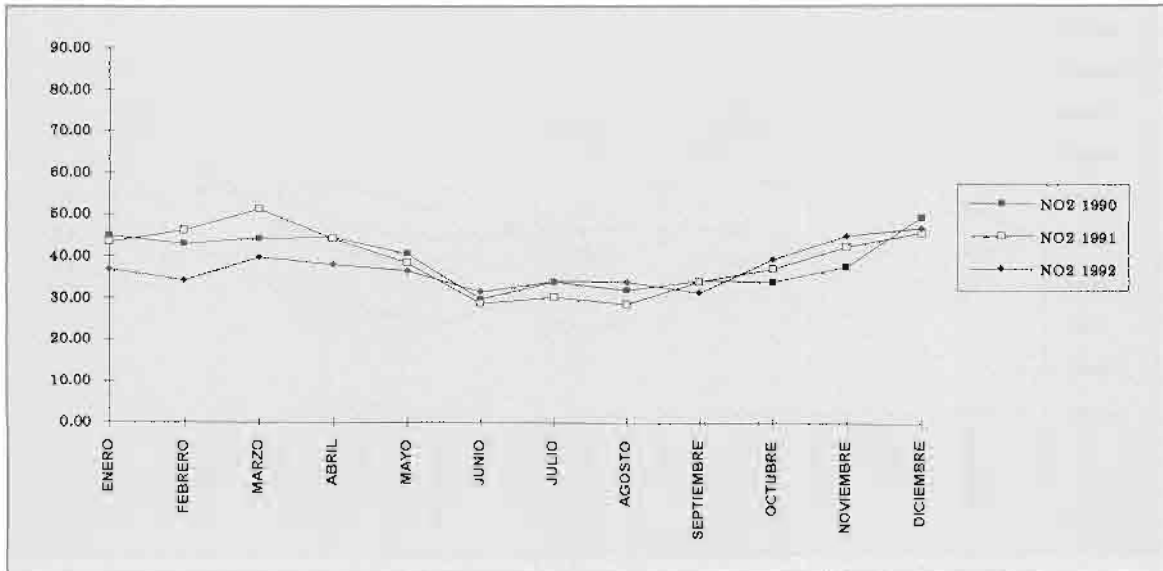
Para 1992, todas las zonas mantuvieron concentraciones similares de  $\text{NO}_2$ , exceptuando la zona centro que registró los valores pico de este año. Durante diciembre, el valor máximo alcanzado (59.23) fue registrado en la zona centro y el mínimo (23.23) lo tuvo la zona noroeste en el mes de septiembre.

Figura No. 7  
Concentración de NO<sub>2</sub> por zonas en 1992



En la figura No. 8 se observa el comportamiento del NO<sub>2</sub> a lo largo de 1990-1992, promediando los valores obtenidos en las diferentes zonas geográficas de la ciudad de México.

Figura No. 8  
Concentración de NO<sub>2</sub> en promedio mensual de 1990 a 1992



Este contaminante se caracterizó por su comportamiento estable durante los tres años. El primer cuatrimestre fue el que presentó mayor dispersión en los datos y es en éste, durante el mes de marzo de 1991, donde se encuentra el valor máximo promedio (de las cinco zonas) del contaminante (51.15).



Durante el segundo cuatrimestre se reportó el comportamiento más estable con una reducción de dispersiones entre los meses de junio y agosto, siendo este último mes donde se encuentra el valor mínimo promedio (28.70) en 1991. El último cuatrimestre del año muestra un incremento gradual en los valores de los tres años, llegándose a alcanzar un promedio de 47.5 IMECAs en el mes de diciembre para los tres años.

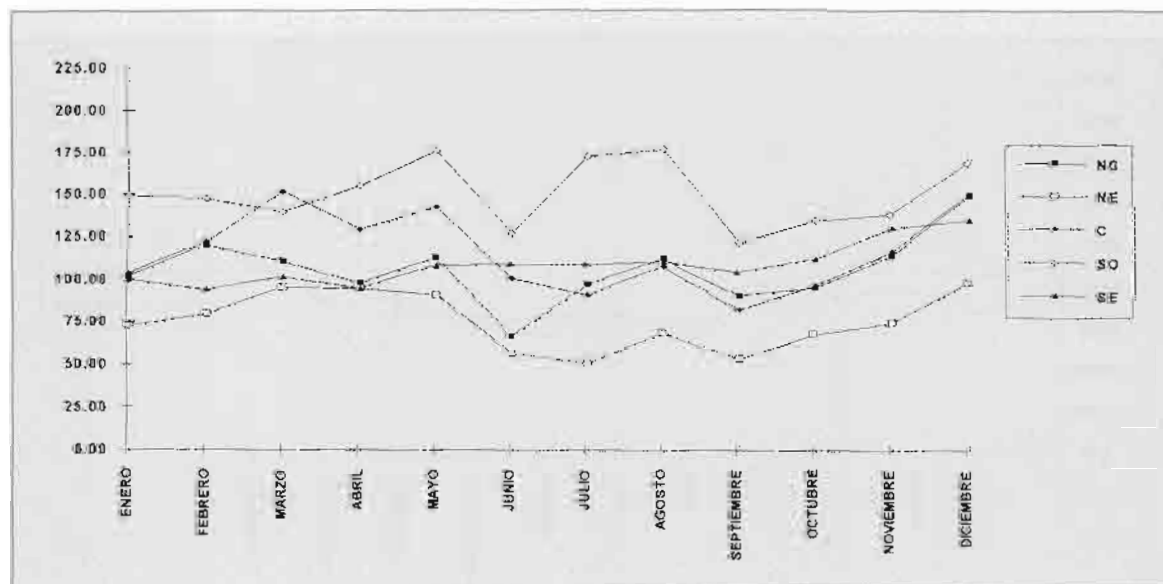
El bióxido de nitrógeno es producido principalmente por plantas generadoras de energía eléctrica, en donde las altas temperaturas de la combustión de energéticos facilitan la formación de este compuesto. Los vehículos de combustión interna también aportan un alto contenido de  $\text{NO}_2$  a la atmósfera (hasta un 39% del total).

Concentraciones medias de bióxido de nitrógeno (13 ppm) producen irritación de nariz, garganta y ojos. Concentraciones mayores (>25 ppm) pueden producir congestión, enfermedades pulmonares y la muerte.

La OMS recomienda un límite de exposición máxima de  $\text{NO}_2$  de 0.17 ppm en 1 hora. Este valor máximo equivale a un valor IMECA de 42.5, mismo que, observando las figuras No. 5-7, es rebasado numerosas ocasiones en varias zonas durante varios meses del año, inclusive llegando al doble de lo recomendado por la OMS. Este contaminante debería ser monitoreado con sumo cuidado, sobre todo en zonas cercanas a plantas generadoras de energía eléctrica en donde los niveles de concentración pueden ser aún mayores.

**-OZONO ( $\text{O}_3$ ):** En las figuras No. 9-11 se pueden observar las concentraciones del  $\text{O}_3$  de 1990-1992. Durante 1990, se observa un comportamiento relativamente estable del ozono. Las zonas que registraron los valores máximos y mínimos fueron la suroeste (177.35 durante el mes de agosto) y la noreste (50.57 durante el mes de julio), respectivamente.

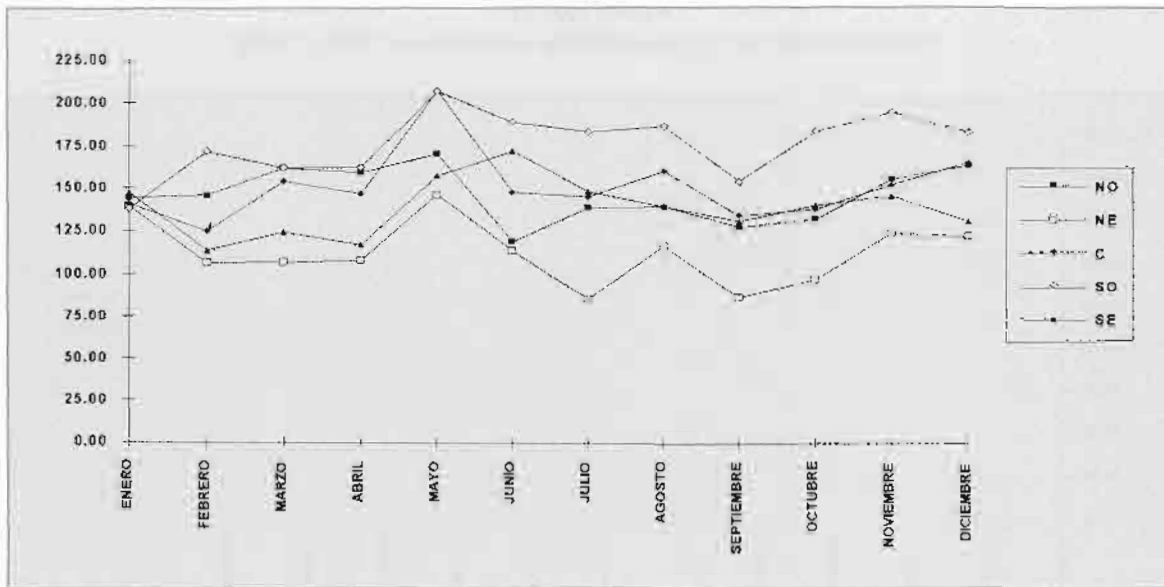
Figura No. 9  
Concentración de  $\text{O}_3$  por zonas en 1990.



En 1991, las cinco zonas iniciaron con valores muy similares. A partir del mes de febrero se registró una dispersión en los niveles de  $\text{O}_3$ , que se mantuvo así durante el resto del año. Nuevamente, la zona suroeste obtuvo los mayores niveles de contaminación a lo largo del año, con un máximo de 207.39 IMECAs en el mes de mayo. Así mismo, la zona noreste fue la que registró los niveles más bajos de  $\text{O}_3$  durante todo el año, con un mínimo de 85.55 en el mes de julio.

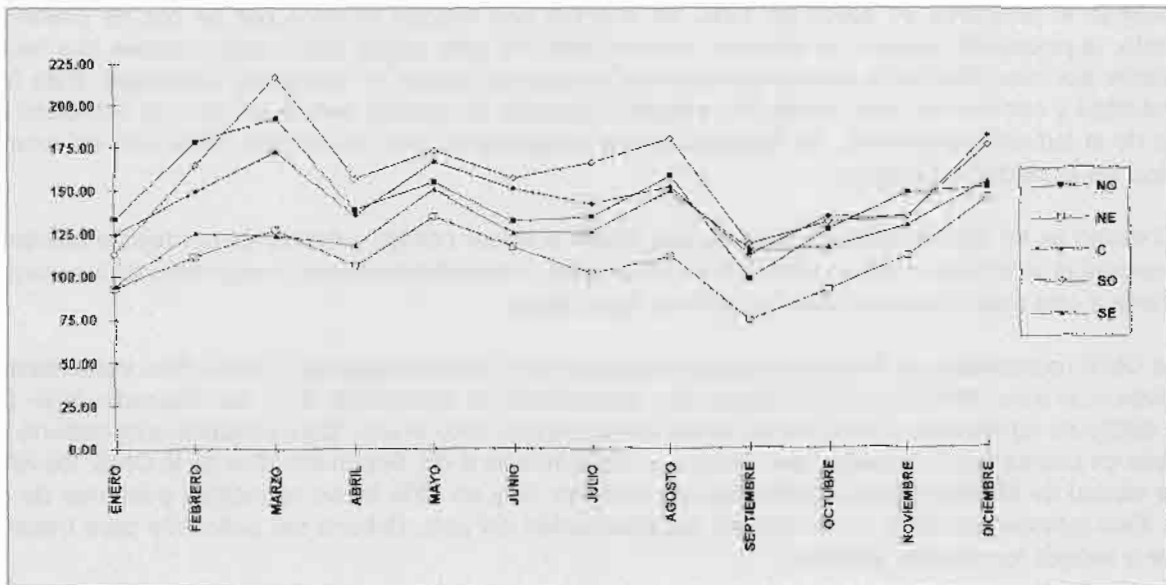


Figura No. 10  
Concentración de O<sub>3</sub> por zonas en 1991



Durante 1992 (figura no. 11), se repite nuevamente el mismo comportamiento, con valores máximos y mínimos de 216.76 (suroeste-marzo) y 73.70 (noreste-septiembre), respectivamente. Esto parece indicarnos que existen corrientes de aire que entran por la zona noreste de la ciudad, arrastrando al ozono en esta área hacia la zona suroeste, misma en donde los vientos se topan con el cerro del Ajusco, concentrándose los niveles de O<sub>3</sub>.

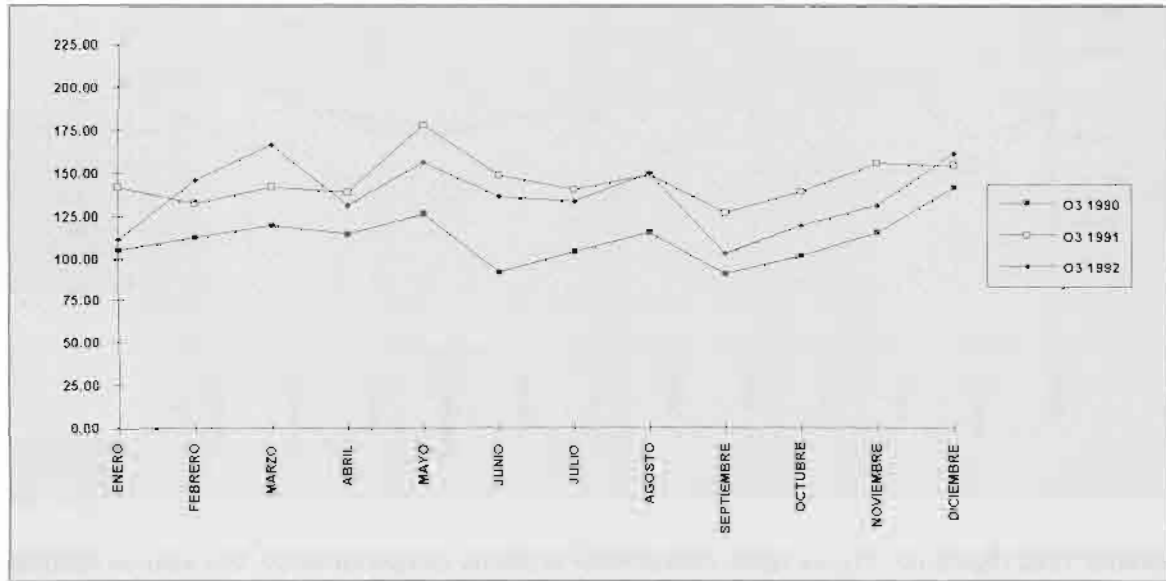
Figura No. 11  
Concentración de O<sub>3</sub> por zonas en 1992





En la figura No. 12 se observa el comportamiento del  $O_3$  a lo largo de 1990-1992, promediando los valores obtenidos en las diferentes zonas geográficas de la ciudad de México.

Figura No. 12  
Concentración de  $O_3$  en promedio mensual de 1990 a 1992



Se puede observar claramente que los niveles de  $O_3$  aumentaron un 20% y 30% aproximadamente durante 1991 y 1992, con respecto a 1990. Esto puede ser resultado del aumento del parque vehicular en la ciudad de México ante el programa "Hoy no circula". Este es un claro ejemplo de un programa adecuado para disminuir la contaminación atmosférica aplicado en una población con una muy pobre educación ecológica.

Cuando el programa se aplicó en 1990, se observó una mejoría drástica por un par de meses; al instante, la población comenzó a comprar nuevos vehículos para seguir circulando, mismos que fueron utilizados por miembros de la familia que antes se movían en medios de transporte colectivos. Esta falta de voluntad y conciencia de la población, aunado a grandes facilidades para la compra de vehículos por parte de la industria automotriz, ha facilitado que el programa de "Hoy no circula" haya sido un rotundo fracaso en la ciudad de México.

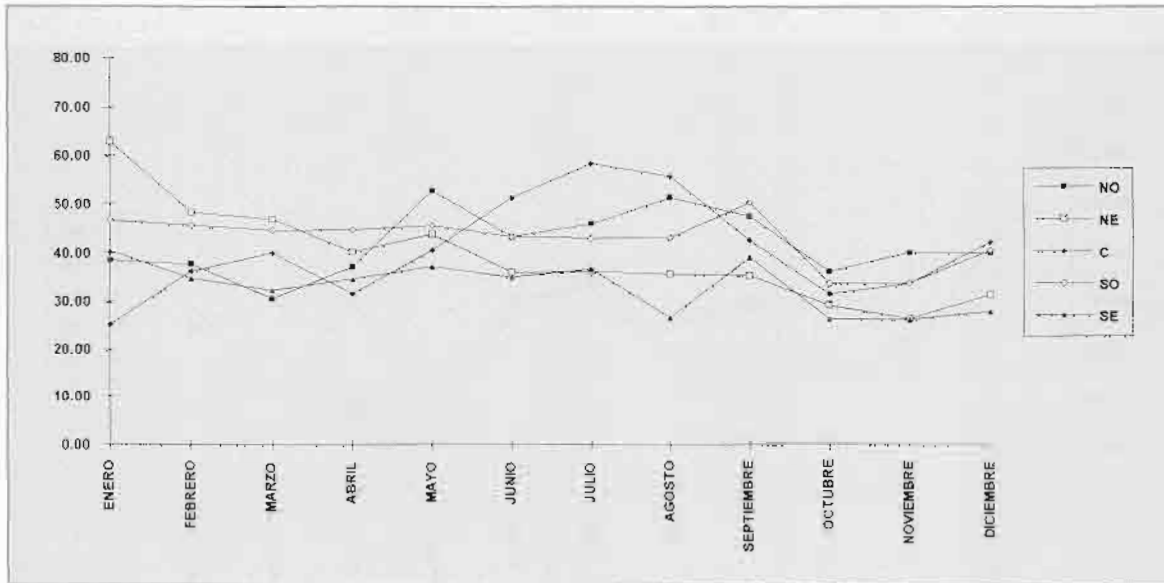
El ozono es un agente oxidante reactivo que tiende a atacar células y descomponer tejidos celulares, en especial al pulmonar. Produce irritación de los ojos, tos y molestias torácicas, incremento de los ataques de asma y una mayor vulnerabilidad a contraer infecciones.

La OMS recomienda un límite de exposición máxima de  $O_3$  de 0.08 ppm en 1 hora. Este valor máximo equivale a un valor IMECA de 57.1, mismo que, observando las figuras No. 9-11, es rebasado de un 200 a un 400% en numerosas ocasiones en varias zonas durante todo el año. Este contaminante debería ser tomado en cuenta con la seriedad que merece, y que nunca se le da. Según estudios de la OMS, los niños de la ciudad de México sufren reducciones de entre un 10 y un 15% de su capacidad pulmonar de por vida. Este informe, no dado a conocer por las autoridades del país, debería ser suficiente para tratar de frenar y reducir los niveles actuales.

- BIÓXIDO DE AZUFRE ( $SO_2$ ): En las figuras No. 13-15 se pueden observar las concentraciones del  $SO_2$  de 1990 a 1992.

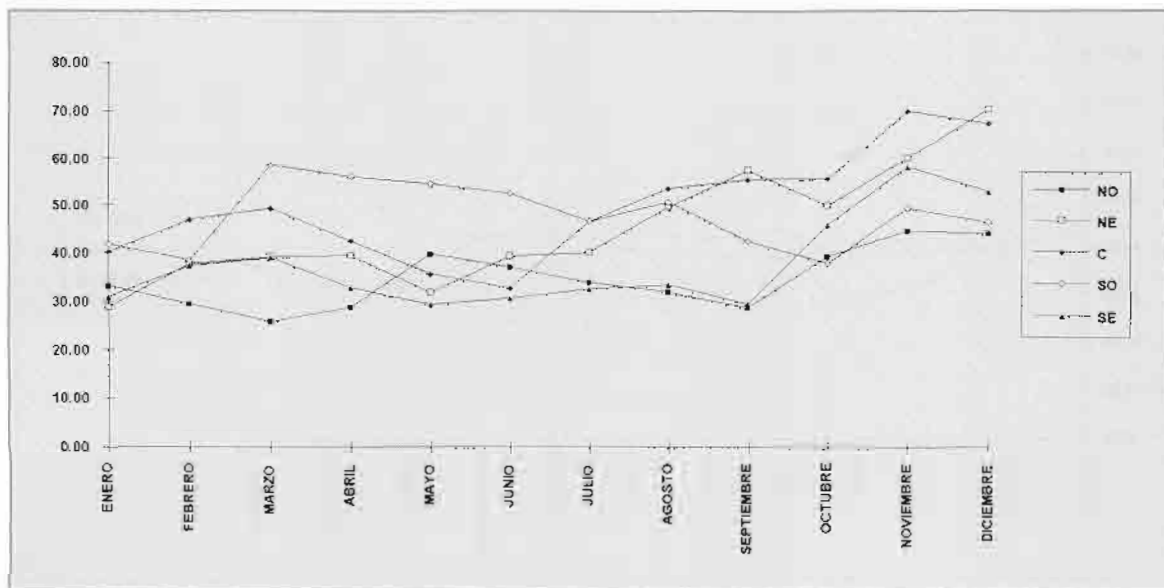
A lo largo de 1990, las concentraciones en los niveles de SO<sub>2</sub> se mantuvieron relativamente estables para las zonas noreste, suroeste y sureste. Sin embargo, las zonas noroeste y centro presentaron concentraciones muy inestables. La concentración más alta (62.87) se registró en la zona noreste en el mes de enero, mientras que la zona centro presentó en el mismo mes la menor concentración (25.23).

Figura No. 13  
Concentración de SO<sub>2</sub> por zonas en 1990



En 1991, los niveles de concentración no siguieron un patrón estable a lo largo del año. Únicamente, se observa un ligero aumento general de octubre a noviembre. Las concentraciones mayores (70.52) se registraron en la zona noreste en el mes de diciembre, a diferencia de la zona noroeste con 25.84 IMECAs durante el mes de marzo.

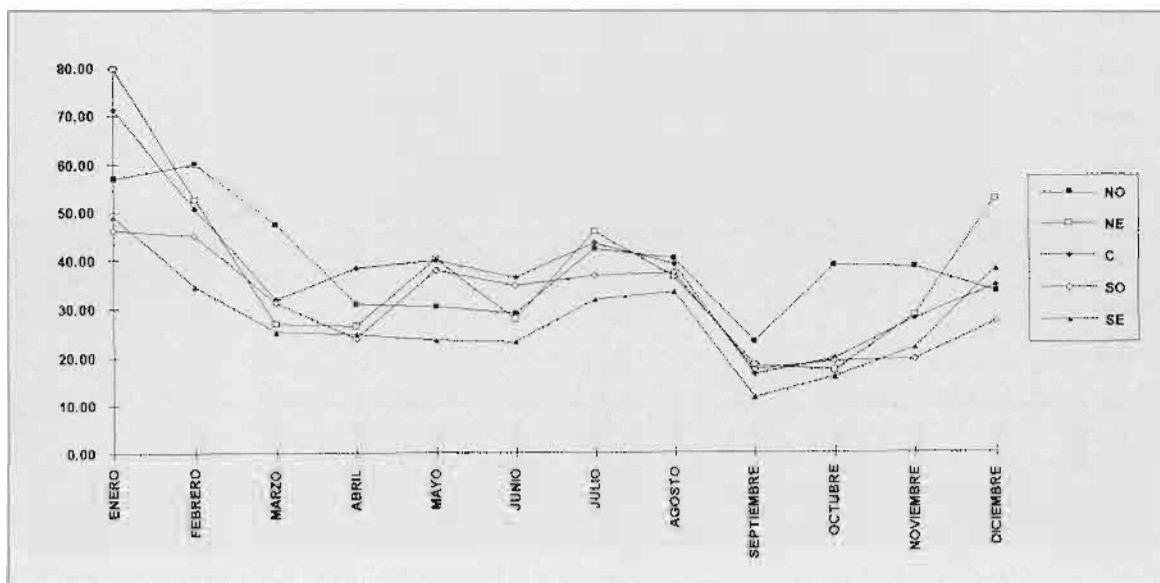
Figura No. 14  
Concentración de SO<sub>2</sub> por zonas en 1991





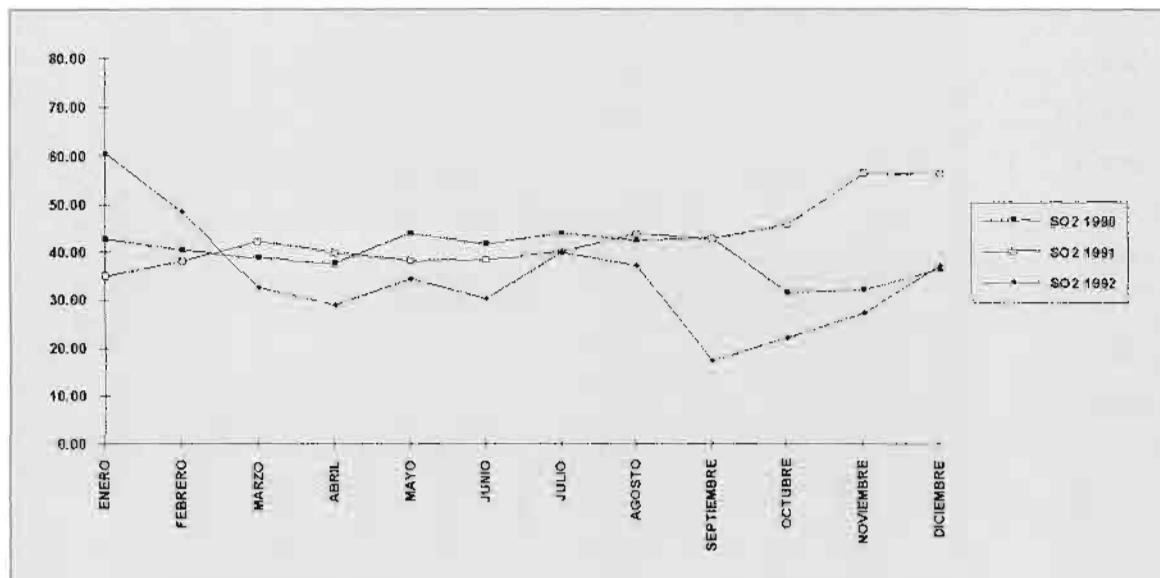
En 1992, se observan niveles de concentraciones muy similares entre las diferentes zonas. Se aprecia una disminución de contaminantes en el primer cuatrimestre, seguido por un etapa de estabilización durante el segundo y un nuevo repunte durante el tercer y último cuatrimestre. La mayor concentración se obtuvo en la zona noreste en el mes de enero con 79.87 IMECAs, mientras que la menor concentración (11.50) se registró en el mes de septiembre en la zona sureste.

Figura No. 15  
Concentración de SO<sub>2</sub> por zonas en 1992



En la figura No. 16 se observa el comportamiento del SO<sub>2</sub> a lo largo de 1990-1992, promediando los valores obtenidos en las diferentes zonas geográficas de la ciudad de México.

Figura No. 16  
Concentración de SO<sub>2</sub> en promedio anual de 1990 a 1992



Los niveles de concentraciones durante 1990 y los primeros dos cuatrimestres de 1991 son prácticamente iguales. En el último trimestre de 1991 se observa un aumento que alcanza su máximo punto en enero de 1992, para finalmente regresar a los niveles de 1990 en el mes de febrero. A partir de este mes, las concentraciones de 1992 se mantienen por debajo de los niveles registrados en los años anteriores. Sólo en noviembre se observa un repunte en las concentraciones hasta alcanzar en diciembre los mismos valores que en 1990.

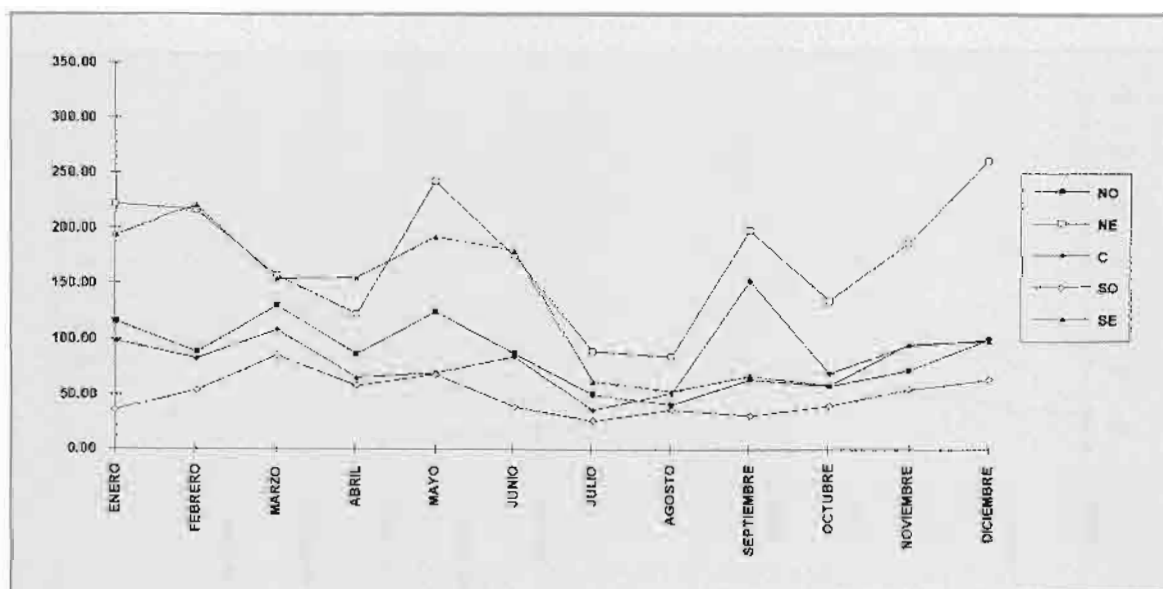
La mayor parte del SO<sub>2</sub> proviene de la combustión de carbón y petróleo en las plantas generadoras de electricidad. No existen pruebas concluyentes de que este gas provoque enfermedades respiratorias (otras que broncoconstricción e irritación de garganta y ojos), pero se ha encontrado una correlación específica entre la incidencia de SO<sub>2</sub> en la atmósfera y el índice de muertes por enfermedades crónicas cardiovasculares y respiratorias.

La OMS recomienda un límite de exposición máxima de SO<sub>2</sub> de 0.07 ppm en 24 horas. Este valor máximo equivale a un valor IMECA de 42.8, mismo que, observando las figuras No. 13-15, es rebasado numerosas ocasiones en varias zonas durante varios meses del año, inclusive llegando casi al doble de lo recomendado por la OMS durante 1991. Este contaminante debería ser monitoreado con sumo cuidado, sobre todo en zonas cercanas a plantas generadoras de energía eléctrica en donde los niveles de concentración pueden ser aún mayores.

- **PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST):** En las figuras No. 17-19 se pueden observar las concentraciones del SO<sub>2</sub> de 1990 a 1992.

En 1990, se observan registros muy dispersos entre sí, existiendo un descenso considerable durante el mes de julio. El índice máximo de contaminación anual (261.33) se registró en el mes de diciembre en la zona noreste (siendo ésta la zona más contaminada durante todo el año), mientras que el valor mínimo (26.0) se registró en el mes de julio en la zona suroeste (siendo precisamente la zona menos contaminada a lo largo del año).

Figura No. 17  
Concentración de PST por zonas en 1990





Durante 1991 se observan registros muy dispersos al igual que el año anterior, teniendo nuevamente a las zonas noreste y suroeste como las zonas con mayor y menor contaminación, respectivamente. El valor máximo registrado en el año (330.67) lo obtuvo la zona noreste en el mes de noviembre y el valor mínimo alcanzado (23.25) se registró el mes de octubre en la zona suroeste.

Figura No. 18  
Concentración de PST por zonas en 1991

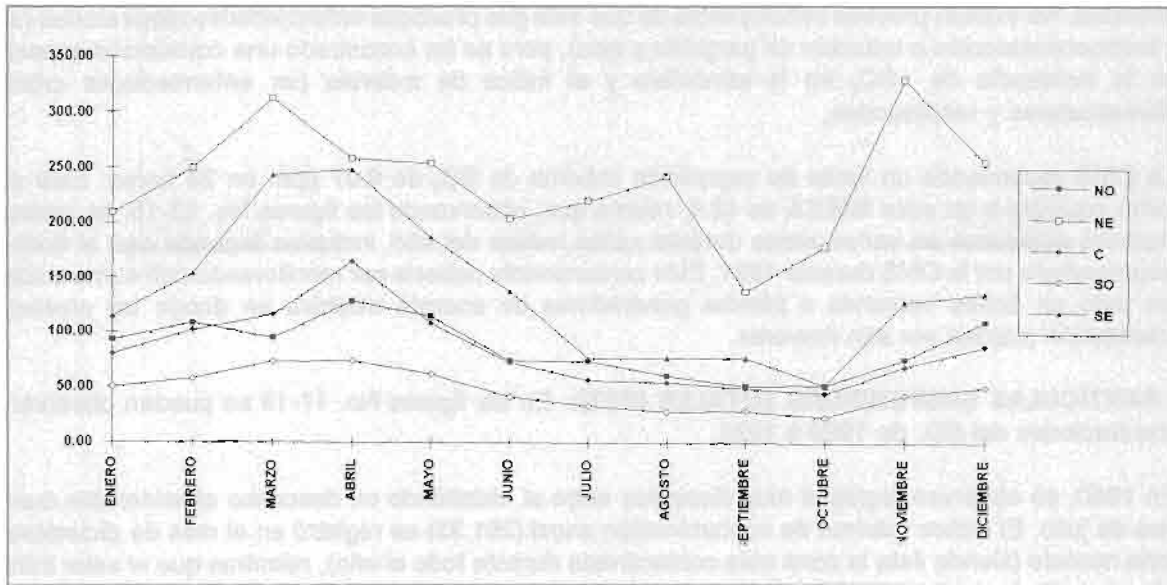
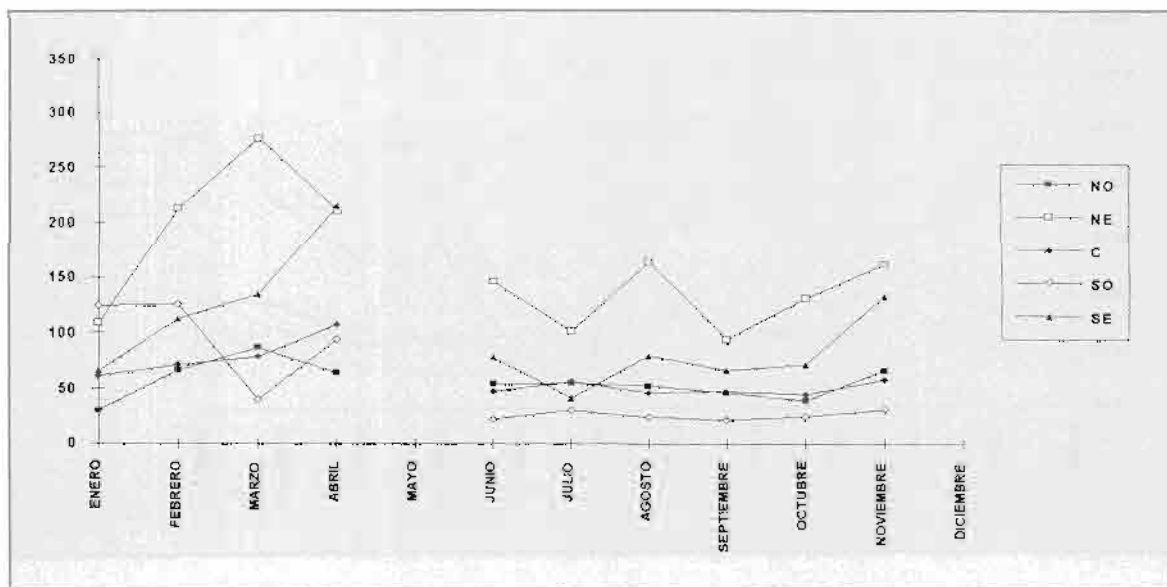


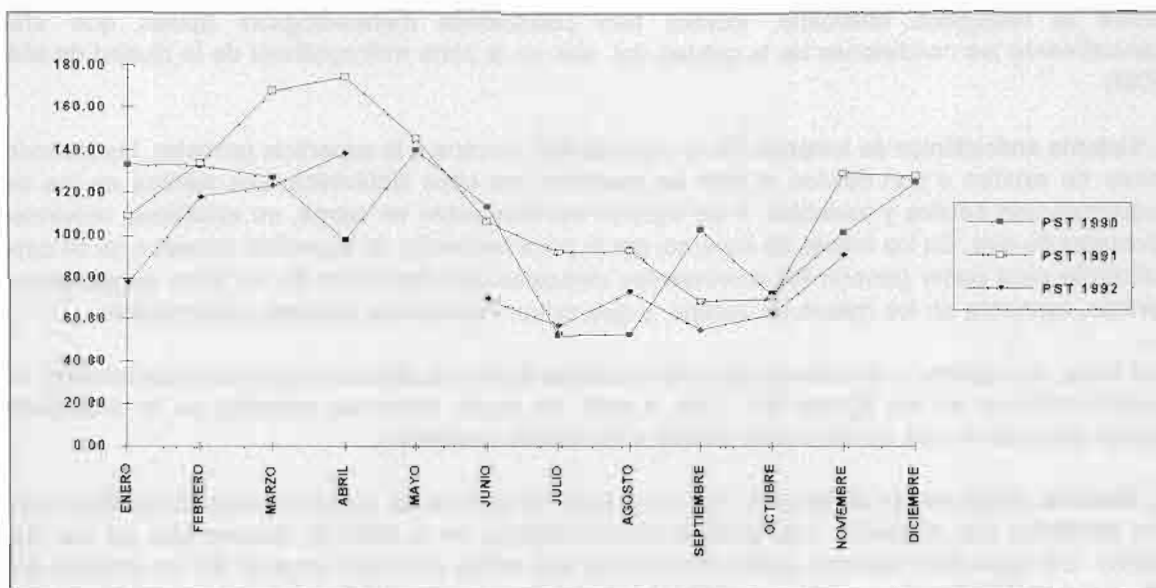
Figura No. 19  
Concentración de PST por zonas en 1992



En 1992 la información proporcionada por SEDESOL fue incompleta durante los meses de mayo y diciembre por lo que no se pudo realizar un análisis preciso. Sin embargo, se observa el mismo comportamiento que en los años anteriores. El valor máximo registrado en el año (276.0) lo obtuvo la zona noreste en el mes de marzo y el valor mínimo alcanzado (21.8) se registró en la zona suroeste durante el mes de septiembre.

En la figura No. 20 se observa el comportamiento de las partículas sólidas a lo largo de 1990-1992, promediando los valores obtenidos en las diferentes zonas geográficas de la ciudad de México.

Figura No. 20  
Concentración de PST en promedio mensual de 1990 a 1992



Las concentraciones de PST aumentaron de 1990 a 1991, y se registra un moderado descenso en 1992. También se puede observar una tendencia al incremento en las concentraciones durante el primer cuatrimestre, seguido de un descenso de los niveles en la época de lluvias. Sin embargo, en el último cuatrimestre se observa un lento aumento hasta alcanzar su máxima concentración en diciembre.

Las PST se producen junto con los contaminantes gaseosos del aire, debido a diferentes actividades. Los principales emisores industriales son la fabricación de hierro y acero, la producción de cemento, la extracción de rocas y minerales, el almacenamiento y la manipulación de granos y la elaboración de pulpa y papel.

Sus efectos en la salud oscilan entre la irritación de los ojos y garganta hasta la reducción de la resistencia a las enfermedades (debilitan el sistema inmune), causando, eventualmente, enfermedades respiratorias crónicas.

Dependiendo de su tamaño, provocan diferentes reacciones en el organismo. Las partículas finas, casi del tamaño de una partícula de humo de cigarro, pueden causar daño temporal o permanente cuando son inhaladas profundamente y se alojan en el pulmón. Algunas partículas, tales como las emitidas por los motores que funcionan a base de diesel, se sospecha que pueden causar cáncer. Otras, tales como los polvos levantados por el viento, pueden acarrear sustancias tóxicas, como pesticidas y patógenos.



La OMS recomienda un límite de exposición máxima de PST de 150 mg / m<sup>3</sup> en 24 horas. Este valor máximo equivale a un valor IMECA de 42.8, mismo que, observando las figuras No. 17-19, es rebasado por la mayoría de las zonas durante todo el año, inclusive llegando a rebasar hasta en 8 veces la dosis recomendada por la OMS durante 1991. Este contaminante, a pesar de encontrarse en niveles extremadamente altos a lo largo del año, parece no causar ninguna preocupación a las autoridades. Se recomienda un estudio completo sobre las industrias que se encuentran en la zona noreste y tratar de reubicar fuera del D.F. a aquellas que produzcan mayor cantidad de PST. Al mismo tiempo es muy necesario advertir a la población sobre las repercusiones de este contaminante, así como posibles soluciones para disminuir sus efectos en la salud.

**b) Efectos de las condiciones meteorológicas sobre la dispersión o aumento de los contaminantes.**

Sobre la República Mexicana, existen tres condiciones meteorológicas típicas que afectan sustancialmente las condiciones de la calidad del aire en la zona metropolitana de la ciudad de México (ZMCM).

**I. Sistema anticiclónico de invierno.** En la capa de aire cercana a la superficie terrestre, las inversiones térmicas no existen o son débiles, o bien se presenta una capa isotérmica. Los vientos en las capas atmosféricas son débiles y variables, o en algunos estratos están en calma, no existiendo movimientos horizontales de aire. En los meses de invierno, por la poca insolación, la superficie terrestre no se calienta lo suficiente para poder generar los movimientos verticales característicos de las altas temperaturas en superficie, comunes en los meses de verano, y que evitan inversiones térmicas prolongadas.

Por tanto, se registra un incremento de contaminantes durante la época invernal (octubre-febrero), como se puede observar en las figuras No. 1-20. A esto, se puede aunar un aumento en la circulación de vehículos durante el mes de diciembre debido a las fiestas navideñas.

**II. Sistema anticiclónico de verano.** En los meses de verano se detectan altas concentraciones de ozono alrededor del mediodía. Los análisis meteorológicos de la SEDUE indican que en los niveles cercanos a la superficie terrestre existe afluencia de aire cálido de origen tropical. En los análisis de 700 t 500 mb, el núcleo de alta presión o anticiclónico se localiza en los estados del noroeste del país o sobre el Golfo de México. Por la circulación de vientos, este sistema propicia que en el valle de México los vientos incidan débiles y del noreste, permitiendo la acumulación de contaminantes (especialmente ozono) en la zona suroeste. El sondeo atmosférico revela que generalmente no se presenta inversión térmica y que las altas temperaturas propias de esta estación del año generan movimientos verticales vespertinos, siendo ésta la causa de que los índices de contaminación disminuyan rápidamente después de las 15 horas. En ésta temporada, otro elemento que propicia el descenso rápido de la concentración de contaminantes (ver figuras No. 1-20) es la presencia de lluvias, situación que favorece el lavado atmosférico.

**III. Sistema de alta presión en superficie.** Han existido casos en los que, aunque no se ha registrado inversión térmica ni se presenta sistema anticiclónico en los niveles superiores de la atmósfera, los niveles de concentración de ozono fueron altos. En estos casos se considera que la causa fundamental es atribuible al efecto producido por un sistema de alta presión en superficie, ubicado en los estados del noreste con elongación hacia el Golfo de México. Este fenómeno propicia el desplazamiento de aire frío del norte del continente a la parte oriental del país, provocando que el aire frío se estratifique, acumulándose los contaminantes hasta que el calentamiento de la superficie terrestre da lugar a los movimientos verticales de la atmósfera, con la consiguiente disminución de los niveles de contaminación.

Existen también condiciones del tiempo que son favorables para la dispersión de contaminantes. Entre las más importantes se encuentran: un perfil atmosférico inestable; gran contenido de humedad asociado a nubosidad de desarrollo vertical productora de lluvias ligeras y moderadas, y una velocidad moderada y fuerte de los vientos en las capas bajas de la atmósfera. Estas condiciones ocasionan la difusión de los contaminantes en la vertical y en la horizontal y el lavado de la atmósfera.



Los sistemas meteorológicos que más frecuentemente producen una o algunas de éstas condiciones son:

**1. Perturbaciones tropicales.** Los ciclones en cualquiera de sus manifestaciones (depresiones, tormentas o huracanes) favorecen la dispersión de contaminantes y el lavado atmosférico. Otros sistemas de origen tropical, tales como ondas tropicales y en general sistemas de baja presión, provocan la entrada de aire de características cálidas y húmedas, el cual favorece nublados con lluvias e inestabilidad atmosférica. En la temporada de lluvias de junio a septiembre existe una mayor incidencia de estos sistemas.

**2. Corrientes de vientos máximos.** En los meses de invierno y primavera son característicos los sistemas como la corriente de vientos máximos que ocasiona vientos moderados y fuertes del suroeste, mismos que favorecen la dispersión de contaminantes gaseosos. Es conveniente mencionar que principalmente en los meses de febrero y marzo, esta corriente provoca tolvaneras, originando altas concentraciones de partículas suspendidas (figuras No. 18-19). Otro sistema que produce efectos similares a la corriente de vientos máximos son las bajas presiones en superficie, las cuales son típicas de la temporada invernal. Al igual que la corriente de vientos máximos, estas bajas presiones, cuando se encuentran cubriendo la parte central del país, ocasionan vientos moderados y fuertes de componente occidental que transportan los contaminantes en la horizontal.

**c) Valoración internacional del IMECA usado en la República Mexicana.**

Cada país utiliza un índice de la medición de la calidad del aire, basándose en datos proporcionados por la OMS. Los límites máximos de contaminantes pueden ser establecidos o alterados de acuerdo a cada país.

En la tabla No. 2, podemos observar los límites máximos recomendados de exposición a diferentes contaminantes.

**Tabla No. 2**  
Límites máximos recomendados de exposición a diferentes contaminantes.

	PST <sup>a</sup>	SO <sub>2</sub> <sup>b</sup>	CO <sup>c</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>d</sup>	O <sub>3</sub> <sup>e</sup>
Tiempo (hrs)	24	24	8	1	1
SEDESOL <sup>f</sup>	275 mg/m <sup>3</sup>	0.13 mg/m <sup>3</sup>	13 ppm	0.21 ppm	0.11 ppm
EPA <sup>g</sup> (USA)	260 mg/m <sup>3</sup>	0.14 mg/m <sup>3</sup>	9 ppm	0.25 ppm	0.12 ppm
CEE <sup>h</sup>	125 mg/m <sup>3</sup>	0.05 mg/m <sup>3</sup>	8.7 ppm	0.21 ppm	0.08 ppm
OMS <sup>i</sup>	150 mg/m <sup>3</sup>	0.06 mg/m <sup>3</sup>	10 ppm	0.17 ppm	0.08 ppm

<sup>a</sup> Partículas Sólidas Totales

<sup>b</sup> Dióxido de azufre

<sup>c</sup> Monóxido de carbono

<sup>d</sup> Óxido nítrico

<sup>e</sup> Ozono

<sup>f</sup> Secretaría de Desarrollo Social

<sup>g</sup> Environmental Protection Agency

<sup>h</sup> Comunidad Económica Europea

<sup>i</sup> Organización Mundial de la Salud

Como se puede observar, la Comunidad Europea establece unos límites inclusive menores a los de la OMS, mientras que la EPA casi duplica las concentraciones máximas de PST, O<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub>, y reduce considerablemente la concentración permitida de NO.



Sin embargo, SEDESOL muestra invariables aumentos en todas las concentraciones permitidas, llegando incluso a duplicar los valores de la OMS de PST y  $\text{SO}_2$ . De esta manera, México presenta valores superiores a los recomendados por otros países, sin razón justificada alguna.

El problema no acaba aquí. En la tabla No. 3 se presentan las conversiones de concentraciones SEDESOL a los puntos de quiebre IMECA

Como se puede observar en la columna de IMECA 100, y en relación a la tabla No. 2, los límites máximos internacionales son nuestros mínimos nacionales. Esto quiere decir que cuando en México los medios de comunicación nos indican que tenemos una calidad del aire satisfactoria, en la Comunidad Europea o en Estados Unidos, ya estarían en grado de alerta. Resulta casi innecesario hacer notar en el lector las concentraciones alcanzadas en México cuando SEDESOL establece la Fase I del Plan de Contingencia. A veces se llegan a sobrepasar hasta en DIEZ veces las dosis recomendadas por la OMS (i.e., concentración de  $\text{SO}_2$ ). Por "suerte", en otros casos llegamos a sobrepasar sólo CUATRO veces dichas recomendaciones (i.e., concentración de PST).

Inclusive, algunos de los valores IMECA 100, están por encima de las concentraciones máximas recomendadas por la propia SEDESOL, como en el caso de las partículas sólidas, el óxido nítrico y el ozono. ¿Qué puede haber ocasionado el manejo arbitrario de estos valores? Dejamos cualquier especulación en manos del lector, pero lo ideal sería una explicación racional por parte de las autoridades de SEDESOL sobre las modificaciones a los valores establecidos por la OMS y el por qué no se ha informado a la población sobre los riesgos que esto conlleva.

Tabla No. 3  
La Escala IMECA de acuerdo a concentración de contaminantes

Contaminante	IMECA 100	IMECA 200	IMECA	IMECA	IMECA
	Calidad Aire	Calidad Aire	Plan de Contingencia Ambiental		
	Satisfactoria	Insatisfactoria	Fase I	Fase II	Fase III
PST ( $\text{mg}/\text{m}^3$ en 24 h)	350	510	675	835	1,000
$\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ en 24 h)	0.13	0.35	0.6	0.8	1.0
CO (ppm en 8 hrs)	14.0	23.0	32.0	41.0	50.0
$\text{NO}_2$ (ppm en 1 hr)	0.40	0.80	1.20	1.60	2.0
$\text{O}_3$ (ppm en 1 hr)	0.14	0.27	0.40	0.5	0.6

## CONCLUSIONES

Es necesario dar a conocer a la población la realidad sobre los valores IMECA, explicando no únicamente el por qué de su modificación a las normas de la OMS, sino a los verdaderos peligros a que nos enfrentamos al respirar un aire con una calidad tan pésima como el que circula en la ciudad de México.

No podemos esperar a que surja una crisis atmosférica que cobre cientos de vidas, como ya pasó en Londres en varias ocasiones. Si la población conociera los riesgos que está padeciendo, tal vez fuera posible motivarla a usar menos su automóvil, a utilizar con mayor frecuencia los medios de transporte público o a compartir el auto con compañeros de trabajo o escuela que vivan por la misma zona geográfica.

La solución al problema ambiental de la ciudad de México no es fácil. Es necesario tomar medidas drásticas para asegurar la salud de sus habitantes. Estas medidas podrían orientarse, no tanto al castigo por parte de infractores, sino a una motivación para ceñirse a ellas. Entre ellas, se citan algunos ejemplos:

a) Adoptar un programa de "dos días sin coche", aunque implica una medida no deseada por la ciudadanía.

b) Negociar una reducción de impuestos para empresas y centros de enseñanza en relación al número de personas que llegasen a trabajar o estudiar compartiendo un auto con su plena capacidad.

c) Hacer obligatorio el uso del transporte escolar en aquellas escuelas situadas en zonas conflictivas de vialidad.

d) Motivar económicamente a aquellas personas que lleguen a su centro de trabajo o estudios en bicicleta, creando carriles para estos vehículos en avenidas y calles poco transitadas de la ciudad.

e) Cerrar al tráfico en algunas zonas de la ciudad de México. Esta medida ya ha sido adoptada en varias ciudades europeas, con dos objetivos principales: disminuir la contaminación atmosférica y preservar patrimonios históricos (edificios, monumentos, etc.) que son afectados por la circulación vial.

f) Las autoridades deben apoyar, técnica y económicamente, la implementación de medidas anticontaminantes en aquellas industrias que emitan sus emisiones a la atmósfera. En último caso, habría que estudiar la posibilidad de trasladar las principales industrias contaminantes fuera del valle de México, aunque esto es casi una quimera.

La responsabilidad y el reto ante este gran problema está en el trabajo conjunto de autoridades, industria y ciudadanía. Con quedarnos sentados y esperar que el otro haga algo, no se va a resolver nada. Ojalá en el futuro no tengamos que buscar un culpable que pague nuestra pasividad actual.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Sr. Frank Bron de PNUMA-ORLAC por las atenciones recibidas durante la realización de este trabajo

## REFERENCIAS

1. Albert, L.A. Curso básico de Toxicología Ambiental. México. Ed. Limusa Noriega. 1985
2. IMECA Internacional. Copias fotostáticas proporcionadas por el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). Atte: Frank Bron
3. SEDESOL. México D.F. Compendio del boletín informativo de la calidad del aire (octubre 1986 - abril 1992). Secretaría de Desarrollo Social. 1993.