

Ozono y lluvia ácida en la Ciudad de México

HUMBERTO BRAVO A., RODOLFO SOSA E., RICARDO TORRES J.

La Ciudad de México conurbada en extensión con algunos municipios del estado de México, constituye la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), la cual se localiza en la parte suroeste de una cuenca cerrada a 19°35' de latitud norte, 99°40' de longitud oeste, y a una altitud de 2 240 metros sobre el nivel del mar. Se encuentra rodeada de montañas, lo que propicia una circulación de vientos provenientes del noroeste-noreste (figura 1). Tiene una alta incidencia de calmas e inversiones térmicas todo el año.¹ El número de días despejados está entre los 100 y los 200 al año y la incidencia de radiación solar es entre 450 y 475 cal/cm²/días.² Además de las condiciones geográficas, se conjuntan emisiones de contaminantes atmosféricos, producidos por las actividades propias de una población urbana de 18 millones de habitantes, situada en una zona en la que circulan más de 2.3 millones de vehículos y en la que se concentra el 25% de las industrias de todo el país, con su correspondiente cantidad de emisiones de contaminantes atmosféricos.

Su situación geográfica y las emisiones de contaminantes atmosféricos (tabla 1), conforman los elementos de un gran contenedor natural, en el que ocurren complejas reacciones fotoquímicas que dan lugar a compuestos oxidantes como el ozono, PAN y otros,³ así como la formación de ácido sulfúrico y ácido nítrico

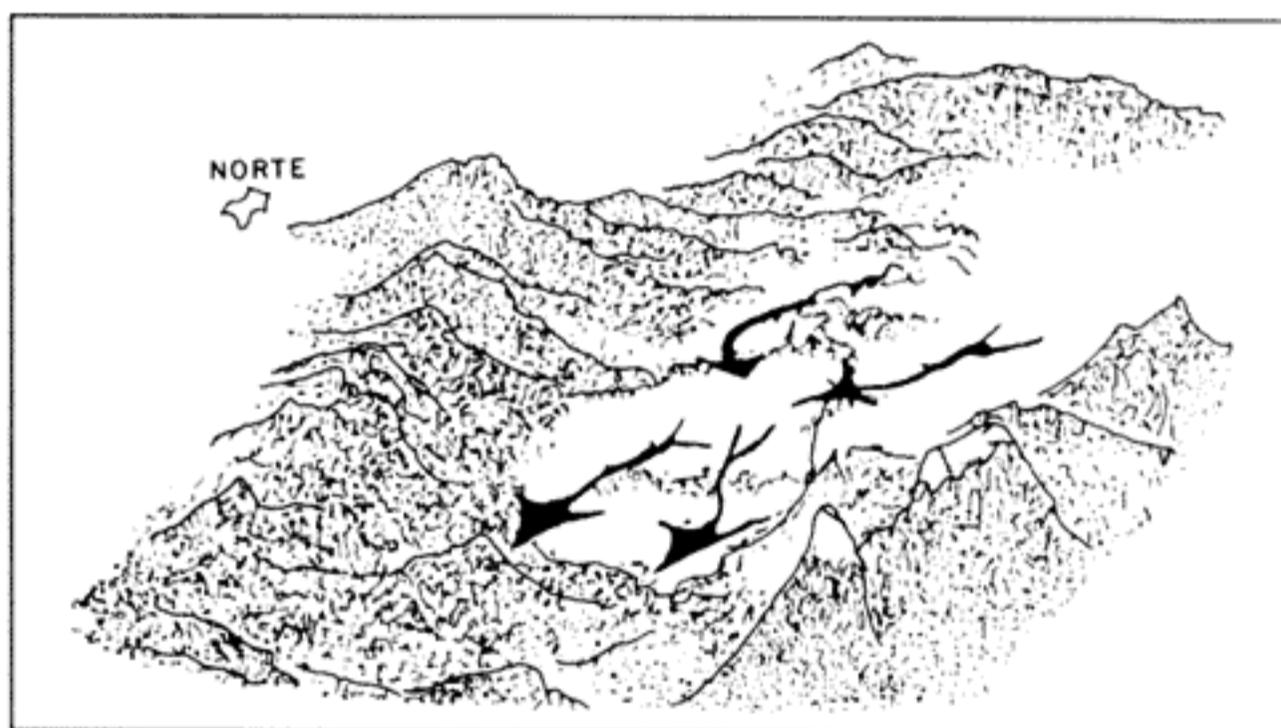


Figura 1. Cuenca del Valle de México y el patrón regular del flujo de viento dominante.

que constituyen el fenómeno de lluvia ácida.

Mecanismos de formación de los contaminantes

Contaminantes fotoquímicos

La contaminación atmosférica fotoquímica, conocida comúnmente como *smog*, es una mezcla de varios compuestos químicos: óxidos de nitrógeno (NO), hidrocarburos reactivos (NMHC) y ozono (O₃), principalmente. El ozono es un contaminante secundario formado en la atmósfera a través de una compleja serie de reacciones químicas de los contaminantes primarios, conocidos como precursores. De estos últimos, los más importantes son los NO_x y los NMHC.

Las fuentes de emisión de precursores antropogénicos son, en primer lugar, los

automóviles (NO_x, NMHC); industria ligera y pesada (NO_x, NMHC), y expendios de gasolina (NMHC), así como todas las actividades en las que se emplean solventes orgánicos: pintura, limpieza, etcétera.

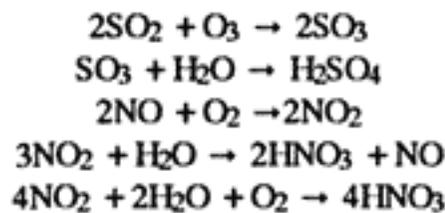
La situación geográfica contribuye a agravar el problema, dado que la formación del ozono depende en gran parte de la radiación solar. Cuanto más cerca se está del Ecuador mayor es el potencial energético que se recibe. Uno de los precursores, el dióxido de nitrógeno (NO₂), es un absorbedor muy eficiente de la energía ultravioleta solar que llega a la superficie de la Tierra. Esta interacción genera lo que se conoce como reacción fotolítica; la molécula NO₂ se rompe en dos: NO y O, con la cual se inicia el mecanismo de formación del ozono⁴ (figura 2). El ciclo descrito explica la formación inicial de ozono en las atmósferas conta-

Humberto Bravo A., Rodolfo Sosa E., Ricardo Torres J.: Sección de Contaminación Ambiental, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM

minadas, pero no aclara el por qué de niveles tan altos en algunos ambientes urbanos. De acuerdo al ciclo fotolítico el O₂ y el NO deberían destruirse en las mismas cantidades, pero no sucede así debido a que intervienen ciertos hidrocarburos que provocan una serie de reacciones mucho más extensas⁵ (figura 3).

Lluvia ácida

Se ha asignado el nombre de "lluvia ácida" a aquello que presenta valores de pH menores a 5.6, tomando en cuenta que este valor corresponde al agua que está en equilibrio con el CO₂ de la atmósfera, lo que provoca que se cree un ácido débil, carbónico.⁶ Cuando se tiene un pH menor a 5.6, esta acidez se debe a la presencia de ácidos fuertes, como el sulfúrico y el ácido nítrico que tienen, como principales precursores, óxidos de azufre (SO_x) y óxidos de nitrógeno (NO_x) respectivamente junto con la humedad de la atmósfera (H₂O). Lo anterior se explica en forma general por las siguientes reacciones:⁷



Las causas a las que se le han atribuido el origen de este fenómeno, son las emisiones atmosféricas por el uso de combustibles fósiles en las operaciones industriales, transporte, agricultura y calefacción doméstica; la utilización de fertilizantes y otros productos químicos en la agricultura, y la combustión de desechos industriales, urbanos y agrícolas. La lluvia ácida puede causar daños en diversos materiales, así como alteraciones, tanto del crecimiento y desarrollo de la vegetación terrestre, como alteraciones químicas y biológicas en los sistemas acuáticos.^{7,8}

Esta descripción se puede aplicar también al fenómeno de deposición ácida,⁹ que incluye deposición seca y deposición húmeda (lluvia), en el cual interaccionan diferentes compuestos como nitratos y sulfatos principalmente (figura 4).

Niveles de contaminación

Del plomo al ozono

En el decreto del ejecutivo federal publicado el 14 de febrero de 1986 en el *Dia-*

Tabla 1. Emisiones de contaminantes estimados para la ZMCM (1985)

Contaminante	Fuentes fijas ton/año	Fuentes móviles ton/año	Total ton/año
Partículas	141 000	12 800	153 800
Monóxido de carbono	120 000	3 600 000	3 720 000
Hidrocarburos	140 000	385 000	525 000
Dióxido de azufre	400 000	11 000	411 000
Óxidos de nitrógeno	93 000	39 000	132 000
Total	894 000	4 047 800	4 942 800

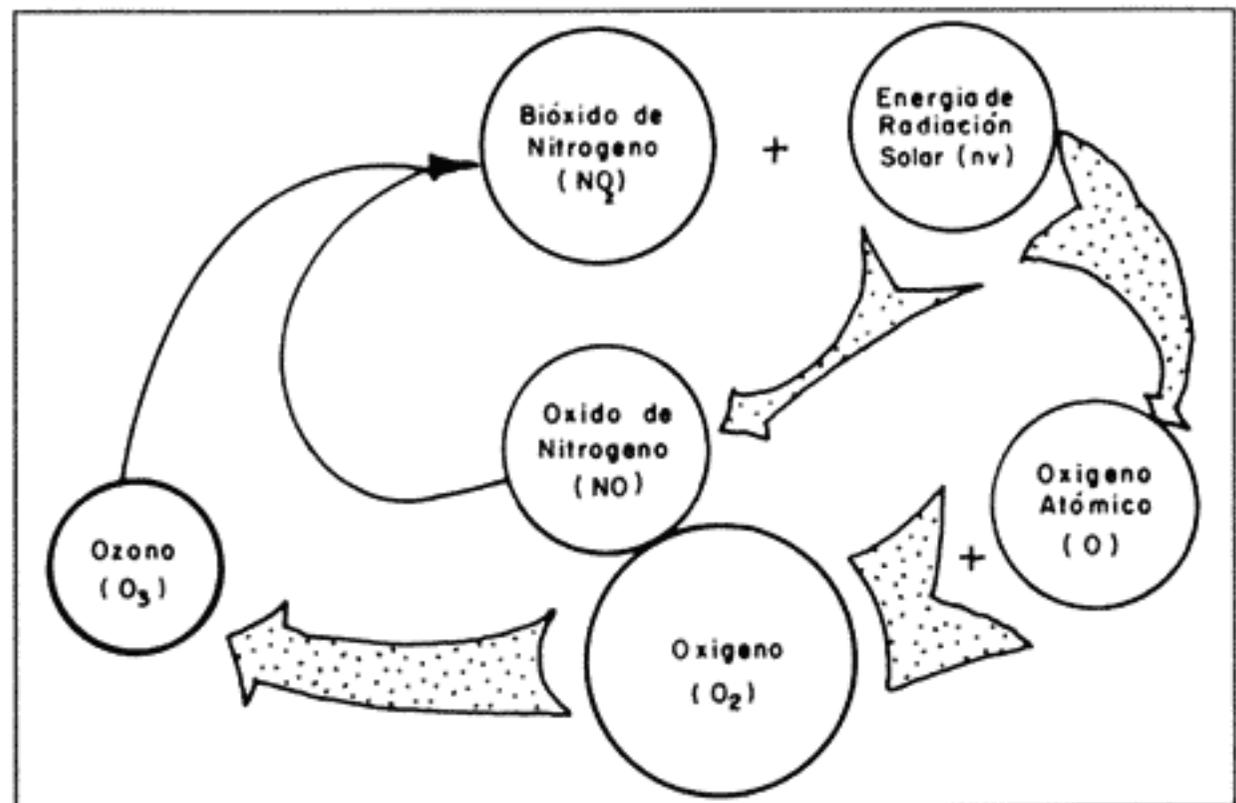


Figura 2. Ciclo fotolítico del dióxido de nitrógeno. (Tomado del Air Quality Criteria for Photochemical Oxidants, NAPCA, 1970).

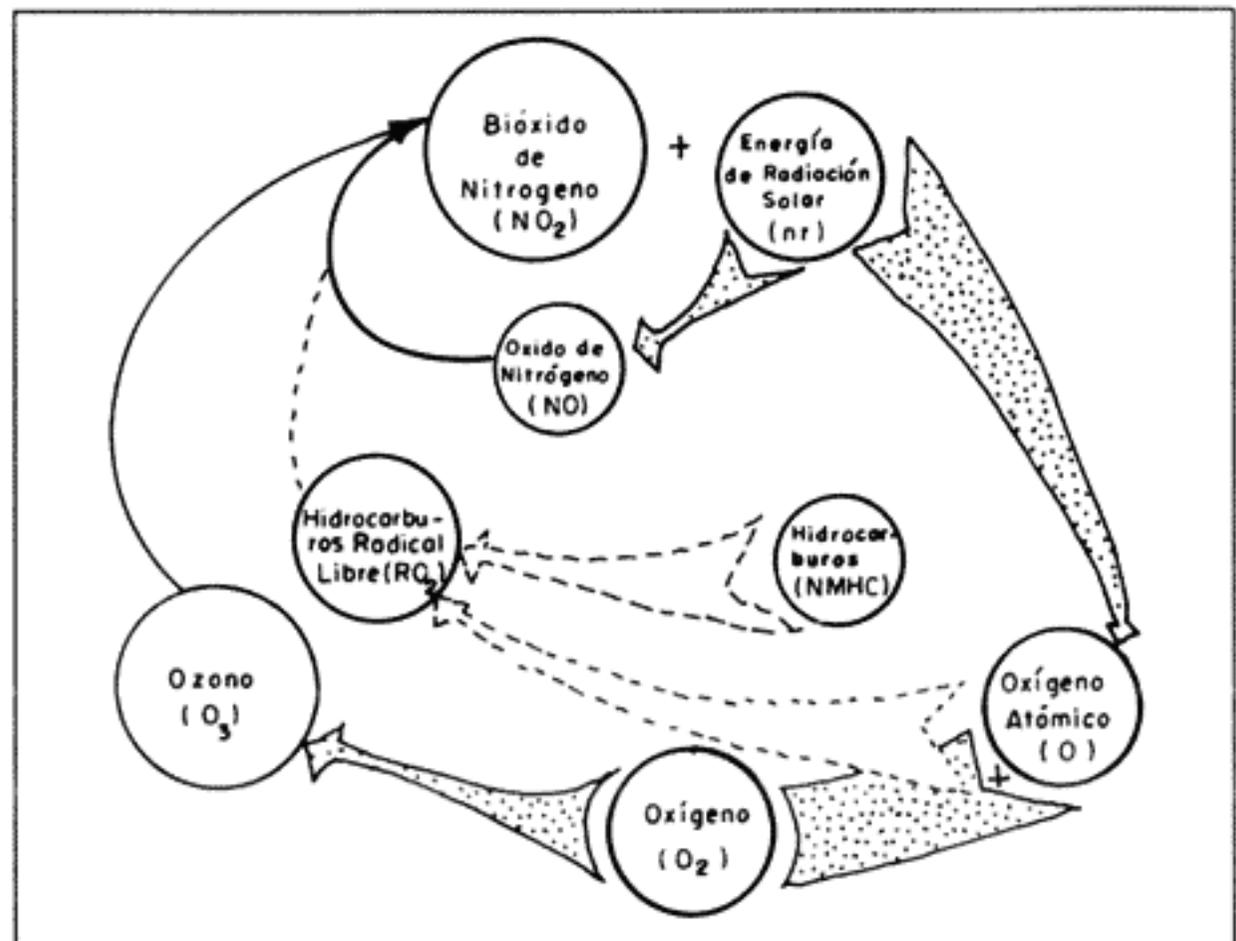


Figura 3. Interacción de los hidrocarburos con el ciclo fotolítico del dióxido de nitrógeno. (Tomado del Air Quality Criteria for Photochemical Oxidants, NAPCA, 1970).

rio Oficial de la Federación, se dan a conocer 21 medidas, cuya aplicación tiene como finalidad el mejorar la calidad del ambiente en la Ciudad de México. La medida 17 tiene como objetivo el que se abastezca gasolina con bajo contenido de plomo a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) y la medida 18, en el mismo contexto, contempla incluir aditivos premezclados en las gasolinas. La fecha que se marca para cumplir con estas medidas, fue del mes de junio de 1986, y la dependencia responsable de llevar a cabo tales acciones fue la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIP) a través de Petróleos Mexicanos. Para el 31 de agosto de 1986 el avance en estas acciones fue del 100% (SEDUE 1986).

La nueva gasolina producida (nova-plus) tiene un contenido promedio de 0.64 ml de tetraetilo de plomo por galón (IMP 1987). La reducción del contenido de tetraetilo de plomo en las gasolinas nacionales ha sido progresiva, ya que la gasolina nova, que se produjo entre 1973 y 1980 contenía 3.5 ml/galón; en 1981 se redujo a 3.0, en 1982 a 2.19, en 1983 a 2.0, de 1984-1985 a 1.0 (PEMEX 1981), hasta que en 1986, se logró que, la reducción llegara hasta el 0.64 ml/galón.

Del plomo total emitido en la República Mexicana aproximadamente el 30% se emite en la ZMCM, lo que arroja una cantidad aproximada de 28 424 toneladas de plomo emitidas en 16 años (1970-1985) (PEMEX 1986) o sea, un equivalente a 1 776 ton/año promedio; esto, lógicamente, ha sido causa de gran preocupación en el medio académico.

Diversos programas de monitoreo de plomo en la atmósfera realizados por instituciones como el Centro de Ciencias de la Atmósfera (UNAM), la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (IPN), la Universidad Autónoma Metropolitana, el Instituto de Geofísica (UNAM) y la propia SEDUE, demostraron, que en años anteriores la problemática de la contaminación atmosférica por plomo, se había incrementado notablemente (Bravo *et al.* 1970, Espinoza 1978, Bravo y Rodríguez 1981, Salazar *et al.* 1991, Grana 1983, López 1985, Velázquez 1986, Saborio 1986, Díaz 1986 y SEDUE 1987). Este incremento se le atribuyó a la emisión de los vehículos automotores.

Petróleos Mexicanos ha establecido programas de reducción gradual del contenido de tetraetilo de plomo en las gasolinas, como medida para mejorar la calidad

del aire (tabla 2) (PEMEX 1986). En cuanto al plomo, la calidad del aire en la ZMCM, ha mejorado considerablemente, ya que se observan concentraciones por abajo de la norma recomendada de calidad del aire y que es de $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio trimestral. La figura 5 presenta el contenido de plomo en partículas suspendidas totales para las estaciones de monitoreo "Museo" y "La Villa" de la SEDUE (SEDUE 1987). El uso de gasolinas con un menor contenido de tetraetilo de plomo, como la magna sin, traerá como consecuencia una disminución del plomo en el aire, sin embargo estas medidas deberán ser respaldadas por estudios científicos con el fin de poder detectar los efectos colaterales negativos.

Sin embargo, al mismo tiempo, las continuas medidas que se han efectuado

en la estación de monitoreo del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA), indican que, a partir del mes de septiembre de 1986, las concentraciones de O_3 se incrementaron con respecto a los años anteriores (Bravo *et al.* 1987, 1988).

El valor más alto de las concentraciones máximas de O_3 , detectadas en el CCA antes de septiembre de 1986, fue de 0.15 ppm y el promedio de tales concentraciones, fue de 0.063, mientras que después se tuvieron valores de 0.355 y 0.147 respectivamente. Como era de esperarse las concentraciones de sus precursores NMHC y NO_x también se incrementaron (tabla 3).

Las figuras 6, 7 y 8 presentan, respectivamente, los promedios mensuales de las concentraciones máximas de O_3 , el número de días al mes en los que se rebasa su nor-

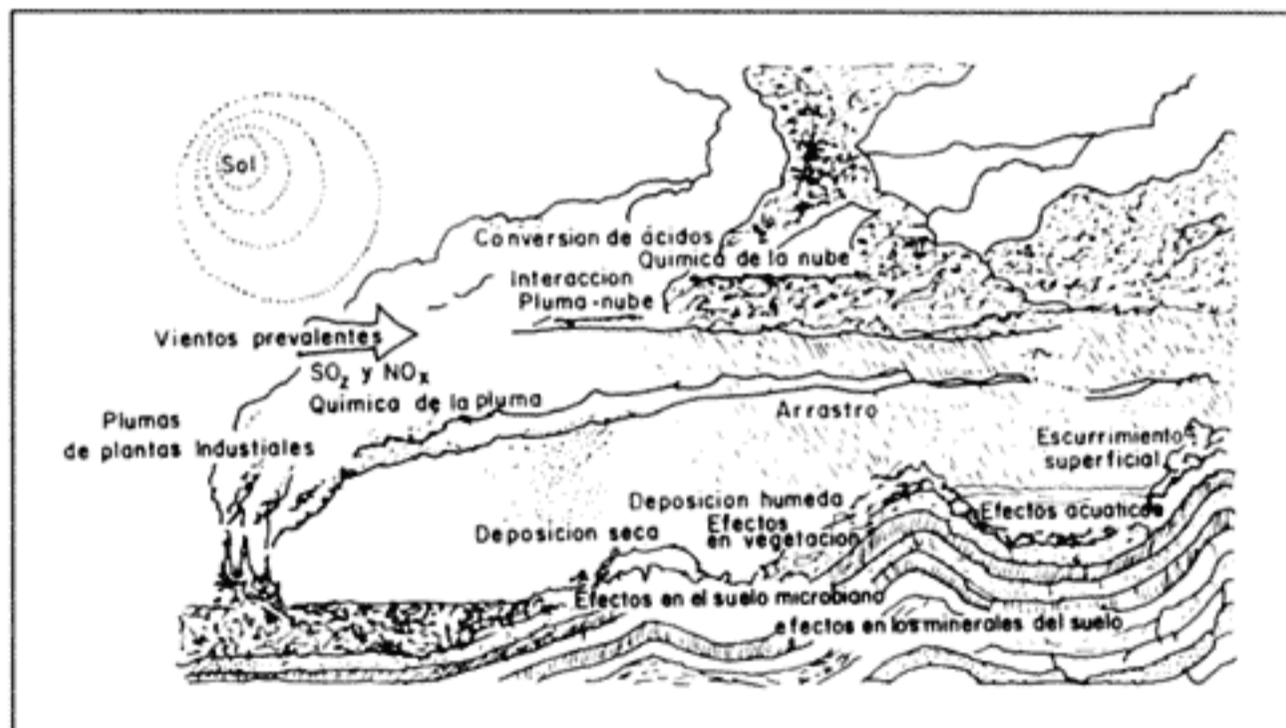


Figura 4. Adaptación de la figura aparecida en "The Acid Precipitation Problem" (Llorvalis, Oregon U.S. EPA Environmental Research Laboratory, 1979).

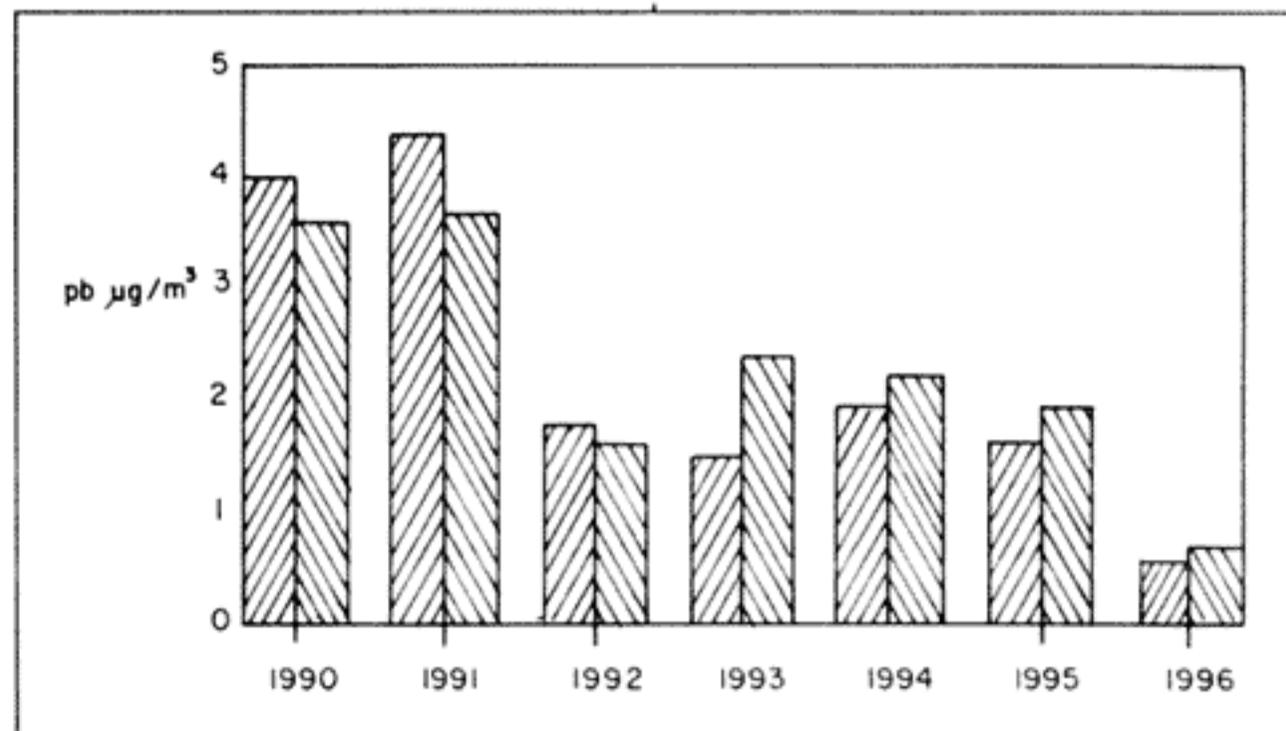


Figura 5. Promedio trimestral (noviembre-diciembre-enero) del contenido de plomo en PST para las estaciones "Museo" y "La Villa" de la SEDUE.

Tabla 2. Contenido de tetraetilo de plomo en gasolinas mexicanas.

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
M	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0									
S	2.7	2.7	2.7	2.7												
G	2.8	2.8	2.8	2.8												
P	3.9	3.9	3.9	3.9												
E				3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.05
N				3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.0	2.19	2.0	1.0	1.0
T	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	0.5	0.5	0.5	0.5

M: Mexolina S: Supermexolina G: Gasolmex P: PEMEX 100 E: Extra
 N: Nova T: Tractogás

Fuente: PEMEX (1986), Aspectos generales del plomo y su comportamiento en el Medio Ambiente. GPTA-E-003.

ma nacional de calidad del aire (0.11 ppm promedio horario máximo), y el número de violaciones por mes a dicha norma. El periodo de tiempo que se analiza abarca de enero de 1984 hasta mayo de 1988.

En la actualidad el ozono es un problema grave de contaminación atmosférica en la ZMCM. Las tablas 4, 5 y 6 confirman esta aseveración, ya que, y esto es importante hacerlo notar, la norma de calidad del aire en los Estados Unidos de América señala 0.12 ppm. (promedio horario máximo), no más de una vez al año y en la estación de monitoreo del CCA de la UNAM, se registraron en 1987, 740 horas arriba de la norma mexicana de calidad del aire, cifra que se incrementó en 1988 a 959 violaciones (horas), y a 1 224 en 1989.

Como consecuencia del transporte de contaminantes emitidos en la parte norte y centro de la ZMCM, por la acción de los vientos, y por la radiación solar que pudieran recibir, se registran altos niveles de ozono en la parte sur y, por ende, mala calidad del aire en esta zona. En la figura 9 se presenta un ejemplo de esta situación, basado en la información de valores máximos horarios registrados por el CCA y la SEDUE.

Lluvia ácida

En la tabla 7, se presentan los valores de pH, sulfatos (SO⁴), nitratos (NO₃) y conductividad para 15 sitios de muestreo en la ZMCM. Estas medidas fueron realizadas, casi en su totalidad, colectando en la misma muestra tanto precipitación húmeda como seca y, por ser el suelo alcalino, esto trae como consecuencia cierta neutralización. La metodología se fue afinando y, desde 1984, en la estación Ciudad Universitaria se lleva a cabo la colección de deposición húmeda y seca por separado.^{13,14,15}

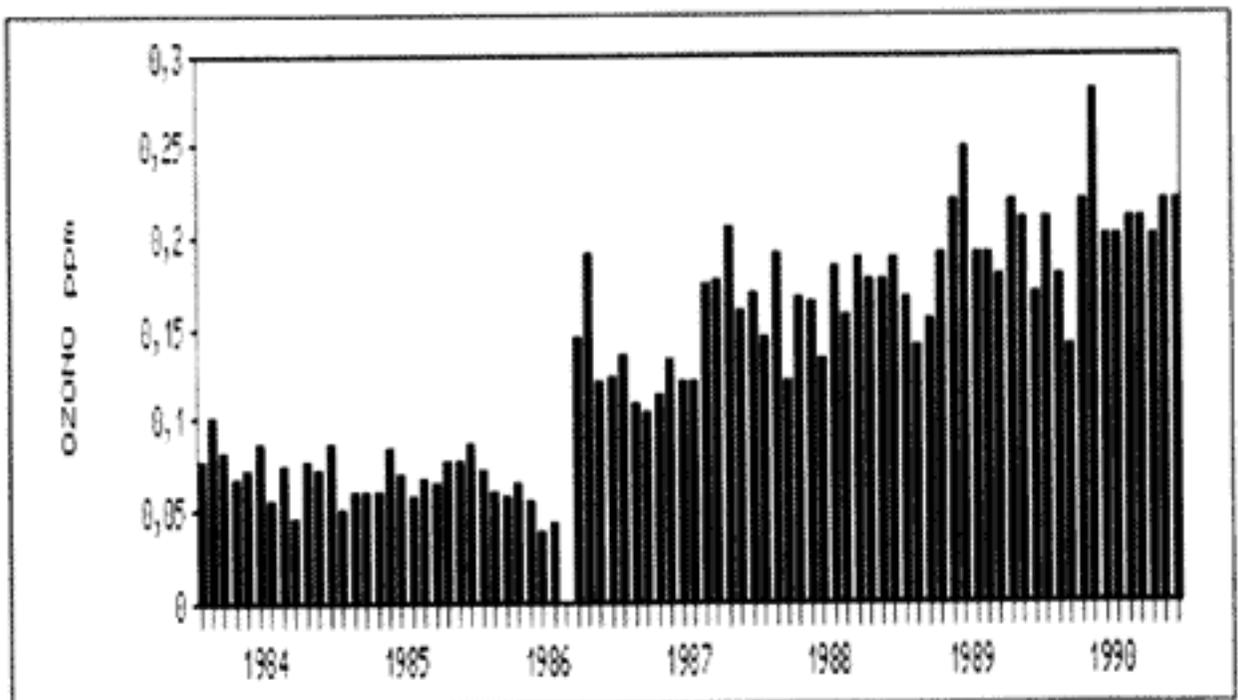


Figura 6. Promedios mensuales de concentraciones máximas de O₃ en la estación del CCA de 1984 a 1988.

Tabla 3. Concentraciones de O₃, NMHC y NO_x en la estación del CCA.

Concentración ppm	Antes del cambio de gasolina	Después del cambio de gasolina
NMHC (Promedio 6-9 horas)	1.80	2.0
NO _x (Promedio 6-9 horas)	0.08	0.20
NMHC/NO _x	22.5	10.0
O ₃ Máxima detectada	0.15 (6/diciembre/1985)	0.35 (30/enero/1987) 0.355 (26/febrero/1988)
O ₃ Promedio de los máximos	0.063	0.147

Conclusiones

Los niveles de ozono a los cuales nos enfrentamos en la actualidad en la ZMCM (1 000 violaciones/año 1988) demuestran que es prioritario tomar medidas inmediatas para resolver este problema, ya que lo que está en juego es la salud de sus habitantes, salud que ya ha sido afectada.

Al definir claramente que los niveles de ozono se incrementaron, a partir del cambio de gasolina realizado por PEMEX, en el segundo semestre de 1986, y que esta afirmación no se basa solamente en la simple coincidencia, sino en estudios y experiencias de otros países al realizar una disminución del contenido de plomo en las gasolinas, así como en conocimien-

tos de química atmosférica y en un análisis de las tendencias de ozono desde 1984, en forma continua, es necesario, como medida inmediata para reducir la contaminación atmosférica por ozono:

- Cambiar la formulación de la gasolina.
- Programar la reducción del contenido de tetraetilo de plomo en las gasolinas, vigilando la calidad del aire con interés especial en plomo, precursores de ozono, y ozono.
- Proporcionar gasolina sin plomo en una fase compatible con el uso de sistemas de conversión catalítica en vehículos.
- Implementar estrategias a mediano y largo plazo como: control de fugas de hidrocarburos en tanques de almacenamiento, válvulas y ductos; control de emisiones de hidrocarburos en el transporte, almacenamiento y servicio de gasolina; regulación del contenido de hidrocarburos en pinturas y otras fuentes misceláneas, así como inspección-mantenimiento de vehículos.

En la Ciudad de México, por tenerse grandes emisiones de precursores (SO_x y NO_x) existe el llamado fenómeno de lluvia ácida y aunque no se ha demostrado que afecte directamente a la salud, sí tiene efectos negativos sobre materiales, vegetación y ecosistemas acuáticos, además de ser un buen indicador del grado de contaminación existente de sus precursores.

Para mejorar la calidad del aire en la ZMCM es necesario unir esfuerzos entre las distintas dependencias gubernamentales encargadas del problema ambiental, instituciones de investigación y el sector industrial.

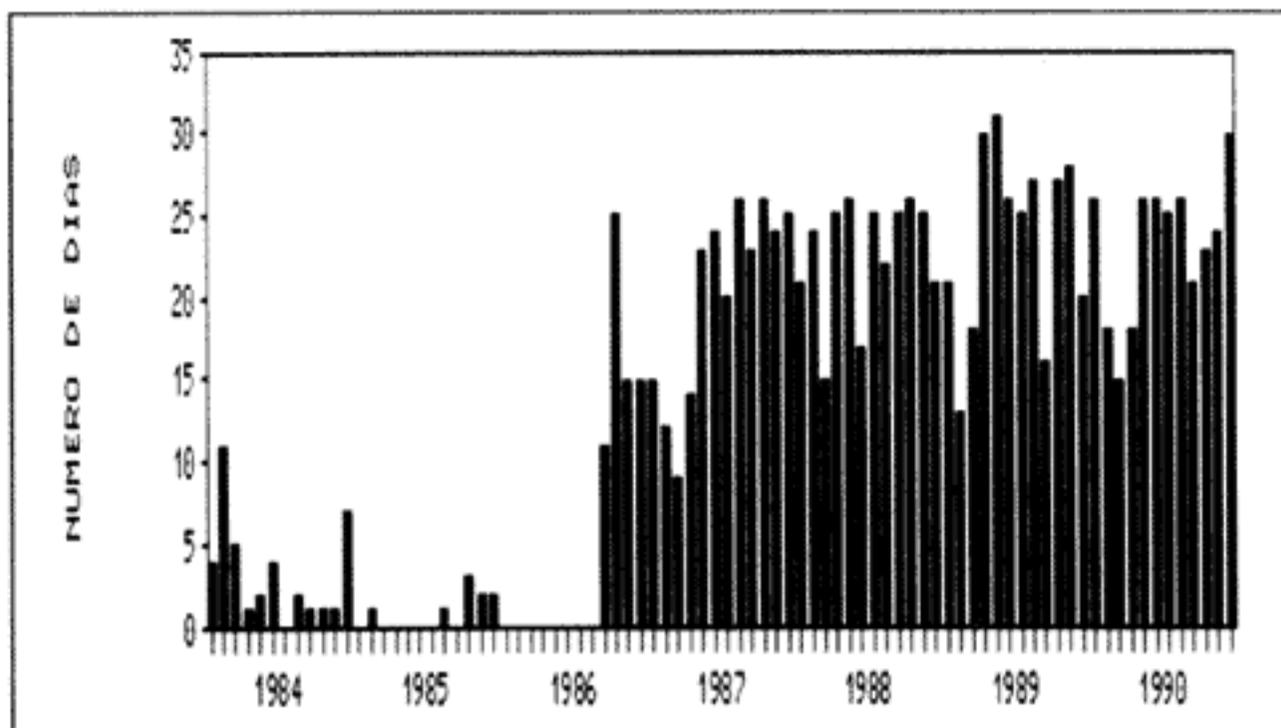


Figura 7. Número de días al mes en que se rebasa la norma de calidad del aire para O₃ en la estación del CCA de 1984 a 1988.

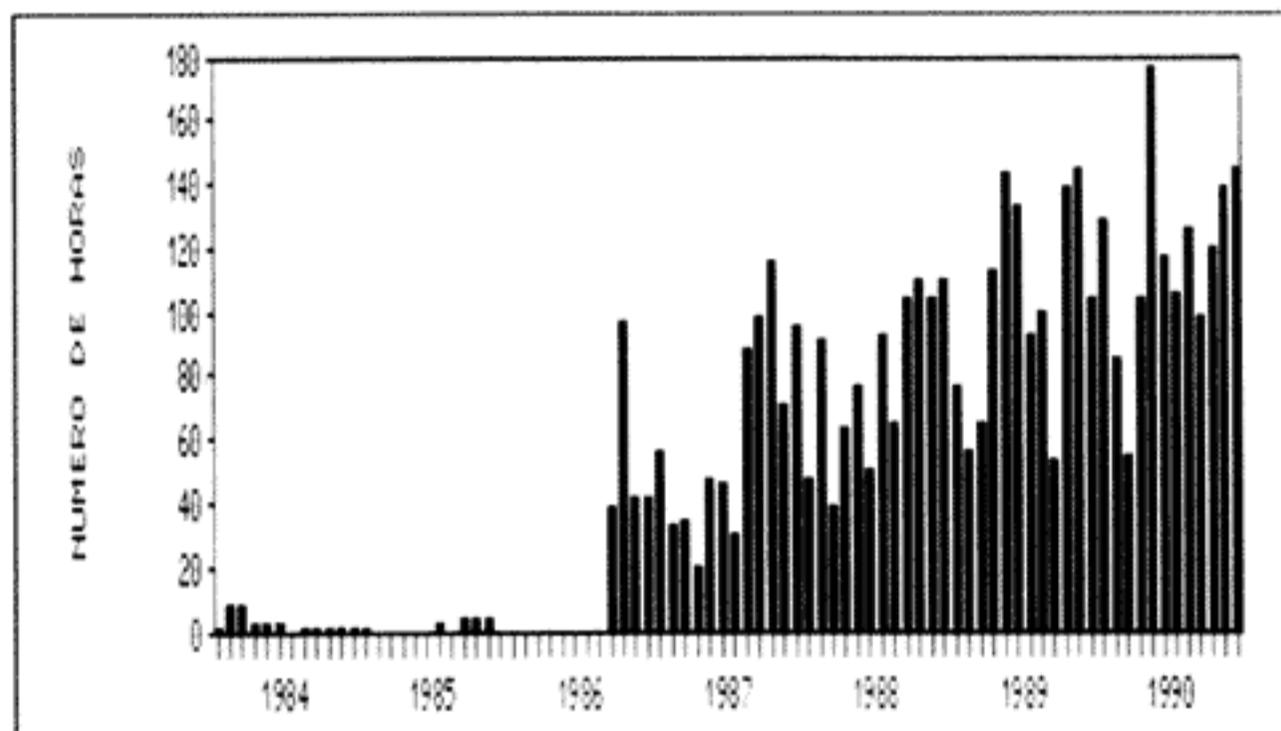


Figura 8. Número de violaciones al mes a la norma de calidad del aire para O₃ en la estación del CCA de 1984 a 1988.

Tabla 4. Número de violaciones a la norma mexicana de calidad del aire para ozono durante 1987. Estación Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM

Mes	Horas del día																				Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Enero											3	8	9	10	9	8	7	0	2		56
Febrero											4	6	8	4	4	4	2	1			33
Marzo										3	6	8	8	5	2	2	1				35
Abril										1	4	6	5	2	2	1					21
Mayo									1	3	12	14	13	5							48
Junio										2	6	13	14	8	3						46
Julio											4	8	11	6	2						31
Agosto										3	13	23	22	14	9	3	1				88
Septiembre										1	14	21	21	18	13	8	2	1			99
Octubre										3	16	24	23	20	14	10	5	1			116
Noviembre										1	8	14	17	16	10	4	1				71
Diciembre											6	15	18	16	16	14	9	2			96
Total										1	17	96	106	169	124	84	54	28	5	2	740

Tabla 5. Número de violaciones a la norma mexicana de calidad del aire para ozono durante 1988. Estación Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM

Mes	Horas del día																Total		
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		19	20
Enero							1	2	7	9	11	9	5	3	1				48
Febrero							2	10	17	16	17	13	10	6	1				92
Marzo							1	6	9	8	6	4	3	1	0	1			39
Abril							8	15	13	9	7	6	3	2	1				64
Mayo							5	14	19	13	13	8	3	2	0				77
Junio							6	12	13	11	6	3							51
Julio							5	15	21	23	18	9	2						93
Agosto							5	15	16	13	8	6	3						66
Septiembre							5	15	21	22	20	13	6	2					104
Octubre							4	12	21	23	21	16	9	4	1				111
Noviembre							1	8	16	22	22	15	12	7					104
Diciembre							1	9	18	20	20	18	14	8	2				110
Total							44	133	192	189	169	120	70	35	6	1			959

Tabla 6. Número de horas en las que la concentración de ozono rebasó la norma mexicana de calidad del aire en la estación del CCA, UNAM durante 1989

Mes	Horas del día												Total
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Enero				1	14	16	16	13	9	7	1		77
Febrero				5	11	12	11	10	4	3	1		57
Marzo				10	14	10	10	8	6	3	3	1	65
Abril			12	22	26	23	16	8	4	2			113
Mayo			18	26	31	28	17	13	8	3			144
Junio		1	17	24	24	21	16	14	10	6			133
Julio			3	18	23	21	16	8	4				93
Agosto			1	17	23	24	20	12	3				100
Septiembre				5	13	13	13	7	3				54
Octubre			8	22	25	25	24	19	11	3			139
Noviembre			3	19	25	24	24	22	18	10			145
Diciembre			1	10	18	19	16	17	10	9	3	1	104
Total		1	63	179	247	236	199	151	90	48	8	2	1224

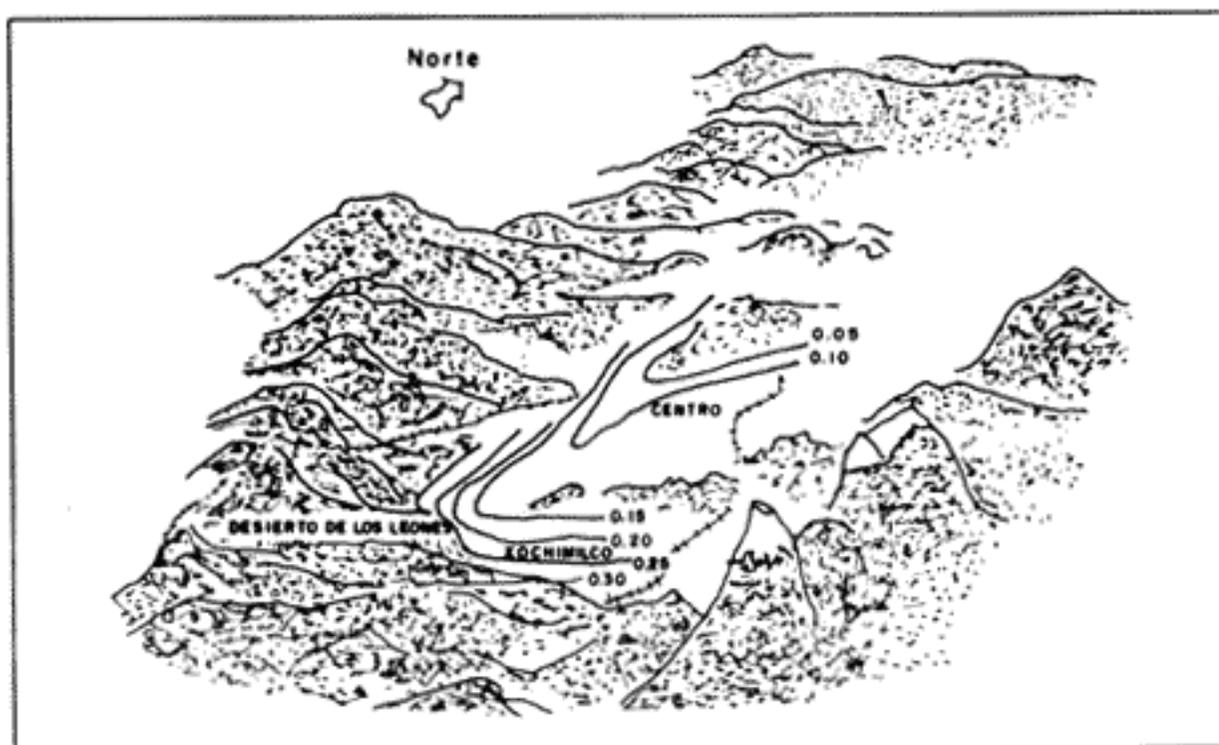
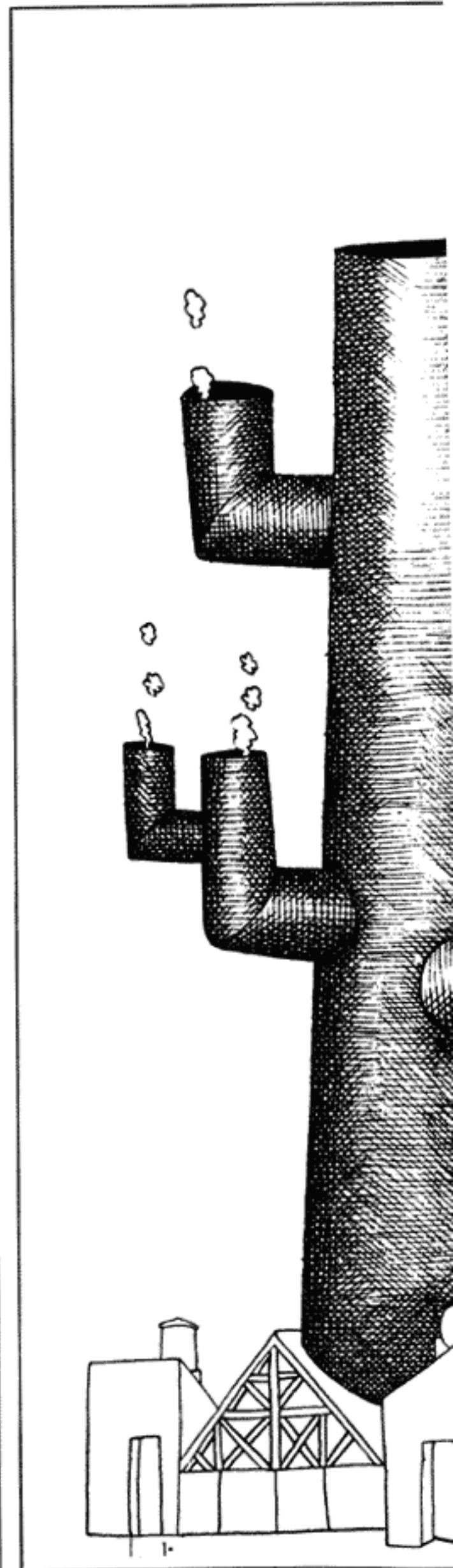


Figura 9. Representación esquemática teórica de isótopos de concentración máxima de O₃ en ppm en la ZMVM, 29/XI/86 (de acuerdo con datos de monitoreo del Centro de Ciencias de la Atmósfera y SEDUE).



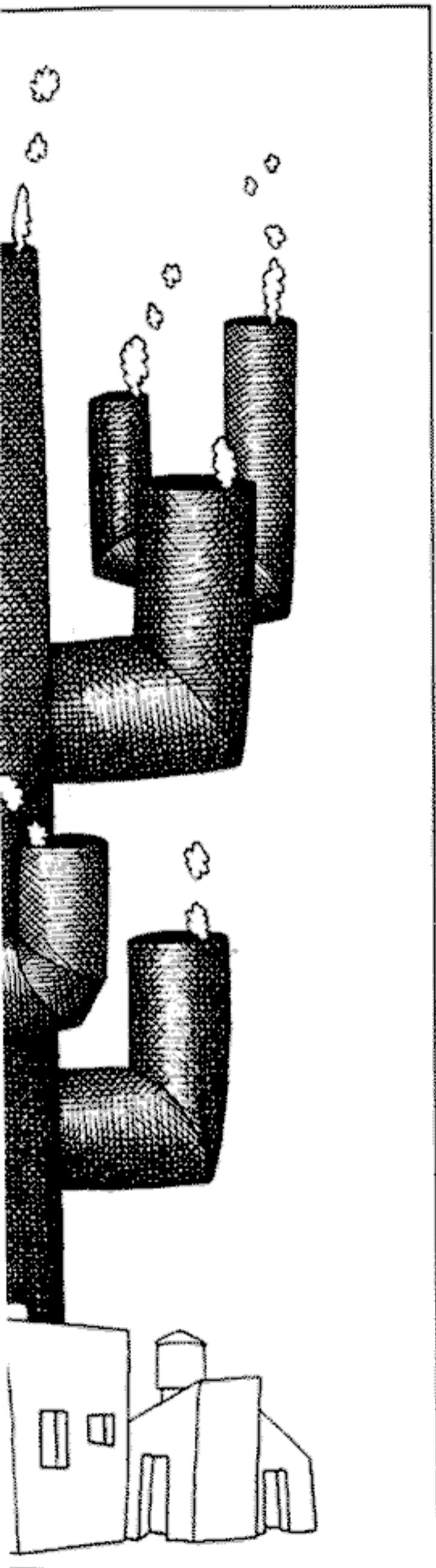


Tabla 7. Valores ponderados de pH, SO_4^{2-} , NO_3^- , y conductividad

Estaciones de muestreo	Ao	pH	SO_4^{2-} mg/lit	NO_3^- mg/lit	Conductividad
Cuautepec (1)	80	6.4	12.52	4.23	
	81				
	82	6.78	9.44	4.38	
	83	6.16	16.86	2.64	
	84	6.74	13.79	2.71	
	85	6.44	12.07	2.46	62.74
Tacuba (2)	80	5.9	10.30	2.74	
	81				
	82	5.44	6.84	1.00	
	83	5.47	8.03	1.01	
	84	4.89	10.17	3.30	
	85	4.33	9.13	7.83	41.70
Chapultepec (3)	80				
	81				
	82				
	83	6.66	9.02	2.79	
	84	6.16	12.54	4.36	
	85	6.22	10.95	4.50	60.75
Moctezuma (4)	80	5.71	12.63	1.43	
	81				
	82	6.74	13.80	2.41	
	83	4.92	10.82	2.72	
	84	5.20	8.77	2.20	
	85	5.55	9.65	2.94	45.07
Aeropuerto (5)	80	5.95	12.27	1.17	
	81	5.86	9.10	2.13	
	82	5.56	0.10	6.09	
	83	5.24	5.06	2.91	
	84	6.42	18.00	2.45	
	85	6.44	10.25	3.01	75.04
Tacubaya (6)	80	5.78	11.78	2.57	
	81	5.47	10.25	2.01	
	82	5.64	7.33	2.42	
	83	5.14	9.59	3.01	
	84	5.16	7.42	3.14	
	85	5.12	7.66	2.67	47.48
Cincal (7)	80	5.20	14.19	1.91	
	81				
	82	5.44	7.29	1.99	
	83	5.32	8.67	2.41	
	84	5.00	9.14	2.41	
	85	6.15	9.45	2.76	43.01
La Venta (8)	80				
	81				
	82	5.07	5.99	2.24	
	83	6.88	7.39	2.07	
	84	6.82	6.62	2.04	
	85	5.93	7.43	2.73	39.74

continúa

Tabla 7. Continuación

Ciudad Universitaria (9)	80	6.22	11.04	2.39	
	81	5.30	9.35	2.51	
	82	5.58	6.36H	1.91H	
	17.79T	2.95T			
	83	6.14	4.43H	2.11H	
	84	4.65H	6.25H	2.01H	
	85	4.05H	6.62H	2.86H	39.46
	5.90T	17.41T	5.64T	73.04	
Tepapan (10)	80				
	81				
	82	5.33	4.54	2.63	
	83	5.16	7.22	3.16	
	84	4.96	6.60	2.39	
	85	5.37	6.04	2.02	32.9
San Gregorio (11)	80	6.41	14.80	3.25	
	81				
	82	5.44	10.81	3.65	
	83	5.56	6.87	2.45	
	84	5.63	4.93	3.25	
	85	6.03	10.84	3.387	59.18
Oyamayo (12)	80				
	81				
	82				
	83	4.81	4.82	2.21	
	84	5.11	4.67	1.85	
	85	6.36	4.41	1.71	31.47
Cerro de la Estrella (13)	80				
	81				
	82				
	83				
	84	5.61	1.77	1.88	
	85	5.84	10.72	3.29	59.95
Cerro del Tepeyac (14)	80				
	81				
	82				
	83				
	84	7.24	17.10	3.29	
	85	5.41	8.15	2.24	45.12
Santa Fe (15)	80				
	81				
	82				
	83				
	84	6.50	6.11	2.56	
	85	6.25	9.36	7.62	47.44

Agradecimientos

Los autores agradecen al personal de apoyo de la Sección de Contaminación Ambiental: Biol. Rosaura Camacho C., Ffs.

François Perrin G., Quím. Ma. I. Saavedra, Biol. Guillermo Torres J., Srita. Leticia Valdez B. y Sr. Calixto Cuevas S., por su colaboración en la realización de este estudio. ♦

Referencias

- Bravo, A. H., R. Torres J., *Ozone monitoring and night concentration events at the campus of the University of Mexico*, Paper 85/59.B.4 Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, Detroit, Michigan, June 16-21, 1985.
- SAHOP, *Programa Nacional de Ecología Urbana, anexo gráfico*, Dirección General de Ecología Urbana, México, febrero 1981.
- Bravo, A. H., *Contaminación atmosférica*, Reporte técnico, Sección de Contaminación Ambiental, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, México 1981.
- USA, 1970, Department of Health, Education and Welfare, *Air quality criteria for photochemical oxidants*, National Air Pollution Control Administration, AP-63, Washington, DC.
- Seinfeld, V. H., 1980, *Air pollution chemistry-Gas Phase*, Lectures Atmospheric Chemistry, American Institute of Chemical Engineers, Monograph Series, No. 12, vol. 76.
- EPA, 1979, *Acid Rain, Research Summary*, Office of Research and Development, EPA-600/8-79, October, USA.
- Krupa, S. U., 1977, *Impact of Air Pollutants on Terrestrial Vegetation*, Course notes, Department of Plant Pathology, University of Minnesota.
- Galloway, J. N., Cowling E. B., 1978, The effects of precipitation on aquatic and terrestrial ecosystems: a proposed precipitation chemistry network, *JAPCA*, 28:229-35.
- Niemann, B. L., Ruot J., Zvalenburg N. V., Mahan L. A., 1979, *An integrated monitoring network for acid deposition: a proposed strategy*, R-02322-EPA-79.
- Bravo, A. H., F. Perrin G., R. Sosa E., R. Torres J., Incremento de la contaminación atmosférica por ozono en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. *Ingeniería Ambiental*, año 1, no. 1: 8-14, 40. enero-febrero 1988.
- Bravo A. H., F. Perrin G., R. Sosa E., R. Torres J., *Efecto del cambio en la formulación de la gasolina sobre los niveles en la atmósfera de plomo y ozono en la Ciudad de México*, Memoria del VI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Querétaro, Qro., 10-13 agosto. 1988.
- Bravo A. H., F. Perrin G., R. Sosa E., R. Torres J., *Gasoline's Lead Reduction in Mexico City-It's Effects in the Air Quality*, SAE Technical Paper Series 890584, International Congress and Exposition, Detroit, Michigan, February 27-March 3, 1989.
- Aguilar A. S., H. Bravo A., R. Magaña Z., M. I. Saavedra R., R. Torres J., *Estudio preliminar de la lluvia ácida en la Cuenca del Valle de México*, Unión Geofísica Mexicana, Manzanillo, Col., mayo 1981.
- Aguilar A. S., H. Bravo A., M. I. Saavedra R., R. Torres J., *Acid precipitation in the Mexico City Basin*, Conferencia técnica sobre climatología urbana y sus aplicaciones con especial referencia a las zonas tropicales, México, D. F., 26-30 noviembre, 1984.
- Bravo A. H., R. Camacho C., F. Perrin G., M. I. Saavedra R., R. Sosa E., R. Torres J., *Contaminación atmosférica en la Ciudad de México*, Tercer Encuentro Nacional de Conservadores del Patrimonio Cultural, México, D. F., 19-23 octubre, 1987.