

105 2EJ.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

IMPORTANCIA DE LA EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AIRE POR OZONO EN LA ZONA SUROESTE DE LA CIUDAD DE MEXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE

B I O L O G O

P R E S E N T A :

JOSE ROBERTO PABLO SANCHEZ ALVAREZ

278212

REALIZADA BAJO LA DIRECCION DEL DR. HUMBERTO BRAVO ALVAREZ

EN LA SECCION DE CONTAMINACION AMBIENTAL DEL CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMOSFERA, UNAM



MEXICO, D. F.

1999

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**

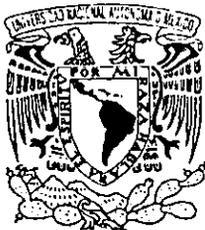


**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**MAT. MARGARITA ELVIRA CHÁVEZ CANO**  
**Jefa de la División de Estudios Profesionales de la**  
**Facultad de Ciencias**  
**Presente**

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:

Importancia de la evaluación de la calidad del aire por ozono en la zona suroeste de la Ciudad de México.

realizado por José Roberto Pablo Sánchez Alvarez  
con número de cuenta 7938951-6 , pasante de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis Propietario Dr. Humberto Bravo Alvarez

Propietario M. en C. Pedro Magaña Melgoza

Propietario M. en C. Victor Olvera Viazcon

Suplente M. en I. Rodolfo Sosa Echeverría

Suplente Dra. María Elena Calderón Segura

FACULTAD DE CIENCIAS  
U.N.A.M.

Consejo Departamental de Biología

*Edna María Suárez Díaz*

DRA. EDNA MARIA SUAREZ DIAZ



DEPARTAMENTO  
DE BIOLOGIA

P

/

D

## Agradecimientos y dedicatoria

*Primero que nada quiero agradecer a la vida misma, por ser la fuente original de la cual todas las manifestaciones de la realidad emanan y a la cual le debemos todos, nuestra existencia.*

*Quiero agradecer al abuelo de mis abuelos, al Sol, Inti, Tonatiuh, la fuerza masculina del universo, por heredarnos todo el conocimiento infinito del cosmos, y por codificarlo en el espíritu de nuestra especie.*

*Quiero agradecer a la abuela de mis abuelas. La Tierra, Gaia, Pachamana, por esa sabiduría que nos alimenta y fluye a través de todos nuestros seres, y por ser la matriz amorosa en que la vida se manifiesta.*

*Quiero también agradecer a La Luna, Araucana, Mixtli, que se renueva cada veintiocho días y sensual y cautivadoramente seduce y eclipsa al Sol, divina y ominosa dama, que estás en el cielo, que estas en la tierra, dueña del firmamento y del mundo, por ser la pasión, espíritu, artífice, compañera y cómplice en el descubrimiento de la integración de nuestro genero.*

*Lo anterior es resultado de una búsqueda de más de ocho años, durante los cuales he estado descubriendo paso a paso, día a día, de principio a fin, el sentido de mi destino personal, como un agente de transformación de la realidad social. Por todo este tiempo, que he tratado de contribuir a la realización de nuestro mayor deseo, individual y colectivo como seres humanos, de construir un mundo mejor aquí en la Tierra para hoy y para el futuro.*

*Estas reflexiones y estos mensajes se los ofrezco a Laura Araceli Cortés -otro sueño hecho realidad-, por todo el amor que me ha brindado, por darme lo mejor que una mujer puede dar, por su fuerza de inspiración, a la cual estoy eternamente agradecido con la vida, y que me ha ayudado en cada momento con su risa, su espíritu libre, alegre y ligero, y sobre todo con su increíble paciencia, entereza, trabajo y obra en estos cinco cruciales años de mi vida, así como a su madre la Sra. Florentina Anaya por haberme abierto las puertas de su hogar, su familia y su corazón y a la memoria del Sr. Carlos Cortés, a quién tengo una deuda de honor que no se aún si algún día podré cumplir.*

*Al Doctor Humberto Bravo Alvarez un gran agradecimiento, por su sincera amistad, por haber guiado mis inquietudes, por el papel que impecablemente juega en el drama del despertar de la conciencia ambiental en México, por las batallas vividas, y por el honor que me ha hecho de dirigir esta Tesis.*

*Quisiera agradecer antes que nada a todos aquellos aliados y compañeros de camino que contribuyeron con su trabajo a la integración de este rompecabezas de ideas que tiene su origen en la vida misma. Gracias a Rodolfo Sosa, Maribel Saavedra, Rosaura Camacho, Leticia Valdez y Ricardo Torres, que sin su apoyo no se hubiera concluido el presente proyecto de investigación y por seguir siendo parte de un grupo indestructible.*

*Quisiera agradecer al Dr. Mauro Valdez por su fuerza visionaria, y a los M. en C. Teresa y Roberto Gamboa y sus hermosos hijos por darnos siempre lo mejor de ustedes.*

*Por los primeros pasos que condujeron a esta obra, quiero agradecer muy especialmente a la M. en C. Guadalupe Roy-Ocotla por su apoyo y comprensión desinteresada así como a Marcela Benolol, por su trabajo realizado en la promoción de la educación ambiental.*

*Igualmente quiero agradecer a las siguientes personas: a la Dra. Teresa Fortoul, Dra. Matilde Espinosa, M. en Ing. Armando Baez, Dr. Ernesto Jauregí, Dr. Ignacio Galindo, Dr. Fernando García, Dr. Armando Leyva, Dr. Agustin Muhlia, M. en C. Raúl Montañez, Ing. Pedro Mociño, Ing. Alfredo Rodriguez, Biól. Roberto Hernández, Ing. Juan Alvarez, Ing. José Luis Pedroza a todos por su apoyo documental y científico, especialmente al Ing. Francisco Rivera y a todo su grupo de colaboradores de la RAMA, por su gran apoyo técnico, al Sr. Francisco García y a todo el personal del Centro de Ciencias de la Atmósfera.*

*A mis profesores de la Facultad de Ciencias, Dr. Juan Luis Cifuentes L., Dr. Ramón Riva E., Dr. Carlos Vázquez Y., Dra. Helia Bravo H. y la M. en C. Julia Carabias L., de los cuales guardo el mejor de los recuerdos: un código de valores en los que están incluidas la honestidad, la lealtad, la moderación, el decoro, la tolerancia, la conciencia inquebrantable del deber y la concordancia exacta entre los ideales y la forma de vida.*

*Quiero agradecer profundamente a los Biols. Cecilia Garduño y Gabino García, al Profesor y M.en C. Sergio Salas, al M. en C. Rito Téran y a los miembros de la Estación Meteorológica Sur (Axa, Le, Jesús, Dalia, Olmo, Erandi, Arena, Patricia, Norma, Miguel Angel, Carlos, Alice y Nasheli), por permitir compartir y participar en su experiencia docente y educativa en esa grandiosa aventura del saber y conocimiento en la Escuela Nacional del Colegio de Ciencias y Humanidades.*

*Quisiera honrar la ayuda de esos verdaderos amigos sin cuyos actos, pensamientos, palabras y sentimientos esta obra nunca habría podido ser concluida; Luis y Lulu Carmona, así como también a: Juan Luis Guzzy, José Antonio González y Rocío Ruenes, Juan José Espejel, Carlos García, Mario Lara y Claudia Padilla, Kurt Dreckman, Domingo Robles, José Luis Romero, Pablo Ortiz, Angélica Espinosa, Laura Koestinger, Vera Copribitza, Mónica Coutiño, Alfredo Arellano, Alfonso Alonso, Eduardo Cota, Gloria Portales, Marina Laveaga, Teresa Mercado, Jorge Escalante, Armando Zertuche, Armando Roa, Ruben Treviño, Alejandro Calvillo, y un profundo agradecimiento a Hector Ceceña, científico, actor, poeta, maestro de GO y consejero, y a la memoria de Bety de Ita. Gracias a ustedes y muchos más que no puedo aquí enumerar.*

*Quiero agradecer a mis dos hermanas Martha Elba y Ana Edith y a sus dos hermosas hijas que me han compartido Ana Areli y Karen Aimee, con la fe en que un día reconocerán en estas páginas, las huellas que las llevan a caminar, a cada una de ellas, su verdadero camino del corazón.*

*También dedico este esfuerzo a todos los seres de los mundos etéreo, minero, vegetal y animal, a todos los guerreros de la paz de la Nación del Arcoiris que están creando las bases para un milenio de curación para la Tierra, y mucho muy especialmente a la memoria del Antropólogo Alberto Ruz Lhuillier, por compartirme el descubrimiento de la tumba del Gran Señor Pacal en Palenque, a su hijo Alberto Ruz Buenfil un guerrero del arcoiris de la gran familia tribal de Huehucóyotl, a los guerreros del Puente Wirikuta, a Suken González por compartir sus conocimientos y experiencias para una vida integral y extraordinaria y al Dr. James E. Lovelock inventor del detector de captura de electrones y creador de la Hipótesis Gaia, por todos estos años compartidos de descubrimientos, aventuras, crecimiento y aguante.*

*Mis mayores agradecimientos y dedicación van sin embargo, antes que nada ni nadie, a Ana Alvarez, guerrera impecable también, guía de tres generaciones, compañera sabia, amiga, madre y abuela, quien ha sido la única testiga de todo este proceso, y a quien debo mis mejores cualidades humanas y casi todo lo que soy en esta vida.*

*Quiero, por último, dejar constancia de una deuda con Liliana Cisneros que se encargó no sólo de realizar la revisión de estilo, sino de también de crear el entorno que hizo posible tanto la reflexión como la escritura, a todos los científicos mexicanos de todas las épocas, a ti, que estas leyendo esto. Desde los senderos del corazón, un agradecimiento fraternal para todas nuestras relaciones en el universo.*

# ÍNDICE

I. Índice	i
II. Índice de figuras	iii
III. Índice de tablas	iv
1. Introducción.	1
2. Objetivos	3
3. Metodología	4
Capítulo I.	
Antecedentes	6
1.1 Evolución histórica del monitoreo atmosférico en la Ciudad de México	7
1.2 Evolución de la ZMCM	12
Capítulo II. Calidad del aire y monitoreo ambiental	16
2.1.1 Calidad del aire	16
2.1.2. Calidad del aire para ozono en la ZMCM	17
2.2 Meteorología	20
2.2.1. Temperatura superficial	26
2.2.2. Humedad relativa, precipitación y evaporación	26
2.2.3. Perfil vertical de temperatura	29
2.2.4. Radiación solar y condiciones de estabilidad atmosférica	30
2.3. Oxidantes fotoquímicos y sus efectos	31
2.3.1. Ozono	31
2.3.2 Efectos del ozono	32
2.3.3. Oxidos de nitrógeno	34
2.3.4. Efectos en la salud del bióxido de nitrógeno	35
2.3.5. Lluvia ácida	35
2.4. Mecanismos de formación de contaminantes fotoquímicos	37
2.4.1. Ciclo fotoquímico del ozono	37
2.5. Criterios y metodologías para determinar la calidad del aire ambiente	37
2.5.1. Criterios de calidad del aire	37
2.5.2. Metodologías de determinación de contaminantes fotoquímicos	41
2.5.2.1. Métodos de referencia para la determinación de ozono	41
2.5.2.1.1. Método de químicoluminiscencia para la determinación de ozono	41
2.5.2.1.2. Método de referencia para la determinación de NO <sub>2</sub>	41
2.5.2.1.3. Método de referencia para la determinación de hidrocarburos	41
2.5.3. Procedimiento de auditoría analítica	44
2.5.4. Procedimiento general para el monitoreo del aire	44
2.5.5. Selección del sitio de monitoreo	46
2.6. Índice Metropolitano de la Calidad del Aire	47
2.7. Programa de contingencias ambientales, (PCA)	53
2.8. Normas oficiales mexicanas aplicables	59
Capítulo III. Estado ambiental que guarda la contaminación atmosférica por ozono en la ZMCM.	
3.1. Caracterización de la problemática	62
3.2. La contaminación atmosférica por ozono en la ZMCM. 1984-1996	63
3.3. El origen del conflicto	72
3.4. Calidad de los combustibles	79
3.5. El impacto del MTBE en la calidad del aire de la ZMCM	84
3.6. Movilidad urbana y el aporte ambiental del automóvil.	88
3.7. Distribución de concentraciones de ozono en la ZMCM	90

Capítulo IV. Acciones para el control de la contaminación ambiental en la ZMCM	
4.1. Inventarios de emisiones en la Ciudad de México	94
4.2. Programa integral contra la contaminación atmosférica en la ZMCM	94
4.3. Políticas y estrategias implementadas para el control de la contaminación ambiental en la ZMCM, 1995-2000	95
4.4 Acciones para el control de la contaminación ambiental por ozono en la ZMCM	100
4.5. Proyectos complementarios para el control de la contaminación ambiental en la ZMCM	108
4.6. Consideraciones preliminares	109
Capítulo V. Integración de la situación actual del deterioro ambiental de la cuenca atmosférica en la zona suroeste de la ZMCM	
5.1. La integración de las series de datos históricos de ozono en la ZMCM	111
5.2. Consideraciones sobre las acciones para el control del ozono en la ZMCM	111
5.3. Discusión	114
Capítulo. VI. Conclusiones y recomendaciones	118
Anexo 1. Técnica para el análisis del Ozono. Método de calibración por solución neutra amortiguadora de KI	121
Anexo 2. Técnica para el análisis de Bióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	137
Anexo 3. Auditoría analítica para monitores automáticos de O <sub>3</sub> y NO <sub>2</sub> .	143
Anexo 4. Normatividad ambiental sobre monitoreo, métodos de detección y criterios de calidad del aire aplicables al ozono y dióxido de nitrógeno	148
Bibliografía	172

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	página	
1.4	Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMCM (RAMA)	13
1.5.	Comisión Ambiental Metropolitana	14
1.6.	Consejo Asesor de la Comisión Ambiental Metropolitana	14
1.7.	Factores y criterios para mejorar la calidad del aire	14
2.1.	Promedio mensual y excedencia anual a la norma de ozono en C.U., 1984-1996	19
2.2.	Porcentaje de violaciones a la norma de ozono en cinco estaciones de la RAMA	19
2.3.	Variación horaria de las concentraciones de ozono y dióxido de nitrógeno, 9 de enero 1989. Estación Pedregal	21
2.4	Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM)	22
2.5.	Estancamiento de contaminantes e inversión térmica	22
2.6.	Frente frío de invierno	24
2.7.	Aire marítimo tropical	24
2.8.	Onda tropical	24
2.9.	Líneas de flujo del aire superficial a las 14:00 h. trazadas con el viento más frecuente en el período octubre-abril	25
2.10.	Líneas de flujo del aire superficial a las 6:00 h. trazadas con el viento más frecuente el período octubre-abril	25
2.11.	Líneas de flujo del aire superficial a las 6:00 h. trazadas con el viento más frecuente en el período mayo-octubre	25
2.12.	Líneas de flujo del aire superficial a las 14:00 h. trazadas con el viento más frecuente el período mayo-octubre	25
2.13.	Temperatura promedio máxima y mínima mensuales (1971-1984)	26
2.14.	Variación horaria de la temperatura en época de secas (marzo 1971-1984)	27
2.15.	Variación horaria de la temperatura en época de lluvias (agosto 1971-1984)	27
2.16.	Curva de humedad relativa promedio durante un año (1984)	27
2.17.	Precipitación pluvial total mensual (1984)	28
2.18.	Variación de la evaporación total en el año (1984)	28
2.19.	Perfil vertical de temperatura sin inversión térmica (1988)	29
2.20.	Perfil vertical de temperatura con inversión térmica (1988)	29
2.21.	Frecuencia e intensidad de las inversiones térmicas de tipo superficial	30

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
2.22. Concentración horaria de O <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , NMHC y radiación ultravioleta registrados en la estación de monitoreo del CCA-UNAM (3/01/87)	31
2.23. Proceso de formación de la lluvia ácida. (The Acid Precipitation Problem, EPA, 1979)	36
2.24. Ciclos fotoquímicos de producción y remoción de ozono	38
2.25. Tren de muestreo integrado para gases	40
2.26. Diagrama típico de un monitor automático de ozono	42
2.27. Analizador de óxidos de nitrógeno	43
2.28. Esquema general del método para la detección de hidrocarburos	43
2.29. Configuración típica de una estación de monitoreo de la RAMA (DDF)	45
2.30. Diagrama esquemático del procedimiento para seleccionar sitios de monitoreo de oxidantes fotoquímicos	48
2.31. Diagrama esquemático del procedimiento para seleccionar sitios de monitoreo de NO y NO <sub>2</sub>	49
2.32. Diagrama esquemático del procedimiento para seleccionar sitios de monitoreo de NMHC	50
2.33. Ejemplo del reporte IMECA	54
2.34. Niveles de Ozono a diferentes rangos IMECA, 1990-1995	55
2.35. Comparación de las normas mexicanas de calidad del aire con la utilizada en otros países, para el valor de 100 IMECA	56
3.1. Concentraciones máximas diurnas y nocturnas de ozono en C.U., 1964	63
3.2. Concentraciones promedio de ozono, hidrocarburos totales, óxido nítrico en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	65
3.3. Concentraciones promedio de ozono, hidrocarburos totales, óxido nítrico (dos semanas) en Bellas Artes	65
3.4. Concentraciones promedio de ozono por día (Invierno, 1983-1984)	66
3.5. Anomalías en las concentraciones de ozono a partir de septiembre de 1986	67
3.6. Concentración promedio horario mensual de O <sub>3</sub> , NMHC, NO <sub>x</sub> , NO y NO <sub>2</sub> en la estación de monitoreo del Centro de Ciencias de la Atmósfera durante el mes de marzo de 1985	68
3.7. Cuenca atmosférica del Valle de México y el patrón regular del flujo de viento dominante	69
3.8. Ozono. Máximos mensuales en la ZMCM	70
3.9. Comportamiento de las concentraciones máximas diarias de ozono en la ZMCM (1986-1995)	71

Figura	página
3.10. Número de días con lecturas IMECA superiores a los 100, 200 y 300 puntos durante 1986-1995	72
3.11. Promedios mensuales de concentraciones máximas de ozono en la estación del CCA de 1984-1990	75
3.12. Número de días al mes en que se rebasa la norma de calidad del aire para ozono en la estación del CCA de 1984-1990	75
3.13. Número de violaciones al mes a la norma de calidad del aire para el ozono en la estación del CCA de 1984-1990	75
3.14. Número de excedencias a la norma de calidad del aire para ozono por hora del día y en base anual registradas en la estación del CCA, UNAM (1987-1990)	78
3.15. Consumo promedio de gasolinas en la ZMCM 1988-1995	79
3.16. Comparación de la calidad típica de la gasolina sin plomo mexicana con estándares internacionales, 1995 (Aromáticos)	81
3.17. Comparación de la calidad típica de la gasolina sin plomo mexicana con estándares internacionales, 1995 (Olefinas)	81
3.18. Comparación de la calidad típica de la gasolina sin plomo mexicana con estándares internacionales, 1995 (Benceno)	81
3.19. Comparación de la calidad típica de la gasolina sin plomo mexicana con estándares internacionales, 1995 (RVP)	82
3.20. Comparación de la calidad típica de la gasolina sin plomo mexicana con estándares internacionales, 1995 (Azufre)	82
3.21. Comparación de la calidad típica de la gasolina sin plomo mexicana con estándares internacionales, 1995 (Oxígeno)	82
3.22. Promedios horarios de formaldehído durante los trimestres diciembre-enero-febrero de 1988/1989 y 1989/1990, antes y después de la introducción del aditivo MTBE, respectivamente determinados en la estación del CCA, UNAM	85
3.23. Promedios horarios de ozono durante los trimestres diciembre-enero-febrero de 1988/1989 y 1989/1990, antes y después de la introducción del aditivo MTBE respectivamente, determinados en la estación del CCA, UNAM	86
3.24. Comportamiento de ventas de gasolinas en la ZMCM y promedio mensual de eventos de ozono registrados en C.U	87
3.25. Comportamiento de la ocurrencia de eventos de ozono promedio mensual y número total en C.U	87

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
3.26	Estructura porcentual de los viajes realizados en la ZMCM, según modo de transporte	88
3.27.	Comportamiento del tránsito vehfular para automóviles particulares	89
3.28.	Trayectoria seguida por la parcela de masa de aire que arribó a la zona del Pedregal el 2 de Febrero de 1988, con una concentración máxima de ozono de 0.295ppm	92
3.29.	Distribución de la frecuencia anual de excedencias a la norma de calidad del aire para ozono en la ZMCM durante 1988	93
4.1.	Circuito cerrado de recuperación de vapores	104
4.2.	Emisiones teóricas de contaminantes (g/pasajero por km)	106

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	página
1.1. Técnicas analíticas de monitoreo atmosférico	8
1.2. Instrumentación de las estaciones de monitoreo	9
1.3. Equipo de monitoreo atmosférico automático	10
2.1. Concentraciones base para evaluar la calidad del aire. Hasta diciembre de 1994	17
2.2. Normas y principios de detección de contaminantes atmosféricos criterio en México	18
2.3. Comparación del Índice PSI (Pollution Standar Index) con concentraciones de Contaminantes, con descriptores calificativos y recomendaciones precautorias	51
2.4. Comparación de los descriptores de calidad del aire PSI, IMEXCA e IMECA	52
2.5. Concentraciones de contaminantes, según el IMECA	52
2.6. Efectos y recomendaciones, según niveles del IMECA,	57
2.7. Fundamentos y medidas del Programa de Contingencias Ambientales, PCA	58
3.1. Concentraciones de ozono en ppm en la Cd. de México	64
3.2. Número de días con valores IMECA de ozono superiores a los 100, 200, 250 y 300 puntos (1988-1995)	70
3.3. Promedio IMECA anual (valores máximos)	72
3.4. Número de excedencias (horas) en las que la concentración de ozono rebasó su norma mexicana de calidad del aire en la estación del Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM durante 1987	76
3.5. Número de excedencias (horas) en las que la concentración de ozono rebasó su norma mexicana de calidad del aire en la estación del Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM durante 1988	76
3.6. Número de excedencias (horas) en las que la concentración de ozono rebasó su norma mexicana de calidad del aire en la estación del Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM durante 1989	77
3.7. Comparación de especificaciones y valores típicos de las gasolinas mexicanas y norteamericanas sin plomo	80
3.8. Especificaciones de la gasolina mexicana con plomo	83
3.9. Consumo energético y carga contaminante por tipo de transporte	90
4.1. Proyectos e inversiones del Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica (PICCA) (octubre de 1990 a diciembre del 1995)	96

<b>Tablas</b>	<b>página</b>
4.2. Dependencias a cargo de la gestión ambiental a nivel estatal	99
4.3. Acciones realizadas para la reducción y control de los contaminantes atmosféricos en la ZMCM	102

# 1.- INTRODUCCIÓN.

La contaminación fotoquímica en la atmósfera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, (ZMCM) caracterizada por el ozono, es uno de los problemas prioritarios con un impacto ambiental y social importante, cuya solución ha sido retrasada, (Bravo y Torres, 1995). Lo anterior como consecuencia de la aplicación en el pasado de una serie de acciones desordenadas, en las que el conocimiento científico fundamental de las causas, formación, transporte y transformación del ozono en la atmósfera no ha sido aplicado con el rigor y seriedad que se requiere en el desarrollo de estrategias de control adecuadas para las condiciones ambientales y técnico sociales de México.

Con base en información oficial sobre las medidas enfocadas para enfrentar el problema de la contaminación por ozono en la ZMCM, de octubre de 1990 hasta diciembre de 1995 (DDF, 1996); se habían invertido poco más de 2333.15 millones de dólares en 41 proyectos e inversiones dirigidas hacia el control de la contaminación atmosférica incluidas en el Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica (PICCA). En marzo de 1996 se firma el Convenio General de Concertación Ambiental, con el objeto de llevar a cabo el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 (PROAIRE, Comisión Ambiental Metropolitana.) Con base a un diagnóstico detallado pero limitado por razones políticas, se inician un gran número de acciones, que incluyen a todos los sectores de la sociedad, pretende producir beneficios claros y permanentes a la población.

El Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 (PMCAVM), tiene como propósito general proteger la salud de la población que habita la ZMCM, pretendiendo para ello abatir de manera gradual y permanente los niveles de contaminación atmosférica partiendo de un enfoque sistémico e integrador pero corto en acciones técnico científicas. El contenido y procedimiento de análisis del PMCAVM (Departamento del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca y Secretaría de Salud, 1996), presenta un problema a muy largo plazo, que plantea en términos de como escoger, una combinación de estrategias e instrumentos (que no son innecesariamente las más adecuadas) para que reduzcan los niveles de contaminación por día y el número de contingencias por año; ello implica desplazar la media de la distribución de probabilidad de los índices de calidad del aire hacia la izquierda tal y como se establece en el Plan Nacional de Medio Ambiente 1995-2000.

Además de la ZMCM el crecimiento desordenado de las zonas metropolitanas de Guadalajara y Monterrey ha sido acompañado del correspondiente deterioro de la calidad del aire, habiéndose ya encontrado la ocurrencia creciente de niveles de ozono por arriba de su respectiva norma de calidad del aire (0.11ppm en 1 hora en 1 día al año, en un término de 3 años). Por esto es importante asimilar la experiencia de la ZMCM, tanto en los errores como en los aciertos, para plantear lineamientos que lleven a un mejor aprovechamiento de los recursos a invertir en el compromiso social de asegurar una calidad del aire satisfactoria para los mexicanos.

La experiencia nacional en la falta de un ordenamiento, objetivos, planeación, ejecución, evaluación y seguimiento de acciones, instrumentos y estrategias tendientes no deben enfocarse sólo para controlar el problema de la contaminación atmosférica por ozono en la ZMCM, sino también en otras áreas urbanas de México, lo que plantea la necesidad de establecer esquemas de desarrollo adecuados para prevenir problemáticas similares a la ZMCM.

El ozono como contaminante atmosférico, es el producto de una serie de reacciones fotoquímicas que se llevan a cabo en la atmósfera entre compuestos gaseosos denominados precursores influenciados por acción de energía solar en el espectro del ultravioleta (Chock y Heuss, 1987; Seinfeld, 1989). Los precursores de ozono son básicamente los óxidos de nitrógeno (NOx) y los hidrocarburos volátiles reactivos (HCR). Ambos precursores son emitidos por actividades antropogénicas, aunque algunos hidrocarburos pueden también ser emitidos por especies vegetales pero de manera poco significativa para el caso específico de la ZMCM.

No obstante, los mecanismos de formación, transporte y distribución del ozono en las atmósferas urbanas contaminadas dependen de una combinación de los siguientes factores: físicos: topografía, meteorología, clima y localización geográfica, asociado con grandes emisiones de precursores. La ZMCM se localiza en la parte Sudeste de una cuenca mal llamada "Valle de México" y presenta como consecuencia del crecimiento en los pasados 15 años tanto de vehículos automotores, gasolinas inadecuadas para su uso en la ZMCM zonas habitacionales y en menor grado industrias, todos los requerimientos básicos para fungir como un gran "reactor químico virtual" (Bravo y Torres, 1995), en el que todas las condiciones de alimentación de compuestos reactivos están perfectamente dadas para que los fenómenos físicos naturales locales funcionen como agitadores de esa mezcla reactiva y la radiación solar como un activador energético de la misma.

## **2.- OBJETIVOS:**

- 1.- Señalar la trascendencia del monitoreo de ozono en el origen, dinámica y control de la calidad del aire en la Ciudad de México.
- 2.- Señalar las características del monitoreo atmosférico del ozono y otros contaminantes criterio.
- 3.- Analizar los requerimientos técnicos para el monitoreo ambiental.
- 4.- Indicar la necesidad de utilizar la información del monitoreo atmosférico como un indicador ambiental.
- 5.- Realizar las recomendaciones relativas a los programas, estrategias, instrumentos y acciones instrumentadas para el control de la contaminación del aire en la ZMCM.

### 3.- Metodología.

1. Precisar:
  - 1.1 Evolución histórica de la calidad del aire y monitoreo ambiental en la ZMCM.
  - 1.2 Cual es la situación actual de la contaminación atmosférica por ozono en la ZMCM.
2. Búsqueda y consulta de fuentes de información que aborden de forma genérica y específica lo relativo a ozono, efectos, contaminación atmosférica, calidad del aire, monitoreo, normatividad ambiental, fotoquímica atmosférica y acciones para el control de este contaminante.
3. Descripción de los procedimientos de monitoreo.
  - 3.1 Análisis de los registros de información generados por la RAMA (IMECA), y los registros de la estación de monitoreo atmosféricos de la sección de contaminación ambiental del Centro de ciencias de la Atmósfera, UNAM
  - 3.2 Revisión de los procedimientos de monitoreo atmosférico continuo establecidos por la Estación de Monitoreo de la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM,
  - 3.3 Operación del analizador automático de ozono marca Beckman Modelo 906. Con principio de detección de reacción de quimiluminiscencia del etileno y ozono. Dicho analizador opera de acuerdo a las recomendaciones, método de referencia y criterios establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA, 1977) y recientemente de acuerdo con Norma Oficial Mexicana NOM-036-ECOL-1993, misma que establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. El analizador de ozono marca Beckman Modelo 906 se encuentra midiendo la concentración de ozono en Ciudad Universitaria desde el año de 1984 hasta el año de 1995 en el cual se cambio por un analizador Thermo Electron Mod. 43 con un principio de detección de fometría ultravioleta, el mismo que opera hasta la fecha en forma continua. La información generada es registrada en un graficador analógico de tiempo real. A partir de esta información se determinan los promedios aritméticos horarios de ozono. Dicha información es utilizada posteriormente para determinar las concentraciones máximas horarias y las excedencias a la norma de calidad del aire, por día, mes y año, con el objeto de determinar el análisis de tendencia. Lo anterior con la finalidad de evaluar las tendencias en los niveles de calidad del aire para el contaminante ozono en la zona suroeste de la ZMCM.
4. Registro de información de la estación de monitoreo del Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.
5. Consulta a las base de datos de información generada por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico del Departamento del Distrito Federal (RAMA-DDF).
6. Análisis de las series de tiempo del índice IMECA, las excedencias anuales en la estación del CCA y las acciones para el control del Ozono.
7. Establecer recomendaciones mínimas para evaluar los alcances de los programas que se han llevado a cabo o en su caso cuestionar críticamente su continuación y la propuesta de nuevas estrategias, instrumentos y acciones para el control de la contaminación atmosférica por ozono en la ZMCM.

Para la elaboración de este trabajo se utilizó la información generada por la Estación de Monitoreo de la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM y el apoyo técnico de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Secretaría del Medio Ambiente del D.D.F.

# Capítulo I.

## Antecedentes.

Se tienen registrados en los anales de la historia de los desastres ambientales, varios episodios de contingencia ambiental graves, producto en su origen del desarrollo de la industrialización en el planeta. Un ejemplo bien documentado ocurrió durante el periodo comprendido del 4 al 8 de diciembre de 1952 en la Ciudad de Londres, Inglaterra; en donde tuvo lugar uno de los más graves episodios de contaminación atmosférica. Dicho episodio provocó la muerte de aproximadamente cuatro mil personas, fallecieron especialmente ancianos y niños recién nacidos por afecciones respiratorias y cardíacas. Este episodio ambiental en una ciudad en tiempos modernos se produjo cuando en dos días de intensa niebla, altas concentraciones de bióxido de azufre y de partículas suspendidas, se elevaron a niveles tóxicos letales y no solamente cobró esas vidas sino que dejó a decenas de miles de personas seriamente afectadas en su salud (Bravo, 1988). Este es solo un ejemplo de los episodios de contaminación y contingencias ambientales científicamente documentados.

Los diferentes ambientes que conforman la Cuenca de México y los ecosistemas que lo rodean, han sufrido notables cambios a lo largo de seis siglos. Los lagos, bosques y pastizales que formaban parte del paisaje original de la cuenca han sido reemplazados en su mayoría por áreas agrícolas, zonas industriales, habitacionales, comerciales, educativas, de servicios y vialidades, entre otras.

La contaminación del aire en la ciudad antes del período industrial en el primer tercio de este siglo, estaba constituida por la generación y transporte de partículas suspendidas y polvo de las tolveneras, favorecida por el desecamiento de la zona lacustre y eventualmente de forma natural por incendios forestales y la quema de malezas. No es sino hasta la década de los años treinta cuando se empieza a generar un cambio en los patrones de emisión de contaminantes a la atmósfera por la transformación industrial, lo cual estimula el incremento de la población, el establecimiento de asentamientos humanos desordenados y por ende la demanda de servicios no planeados.

La falta de adecuados instrumentos de planeación del tipo de desarrollo, carencia de recursos técnicos propios y la dependencia de la tecnología, aunado a los esquemas de explotación y transformación de los recursos naturales, dio como resultado los primeros síntomas de contaminación en la cuenca.

La calidad del aire de grandes centros industriales y urbanos del planeta se encuentra de tal manera deteriorada que constituye un serio peligro para la salud de la población y la conservación de los recursos naturales.

Considerando el crecimiento la Ciudad de México, a la contaminación originada por la industria se agregó poco después con el tiempo la proveniente de los vehículos automotores, que utilizan gasolinas inadecuadas y que por millones inundaron en unas cuantas décadas las calles principales de la ZMCM y otras ciudades del país. A partir de la década de los cincuenta la problemática en cuestión se ha ido complicando hasta llegar a nuestros días en el que tener niveles de algunos contaminantes arriba de su norma de calidad del aire es una situación cotidiana.

### 1.1. Evolución histórica del monitoreo atmosférico en la Ciudad de México.

Es a mediados de la década de los cincuenta cuando se empiezan a realizar los primeros estudios sobre la contaminación atmosférica del Distrito Federal, dando origen a la primera red de monitoreo atmosférico de la Ciudad de México, conformada por cuatro estaciones operadas manualmente, que se localizaban en el Municipio de Tlalnepantla, en el Aeropuerto Internacional, en el Centro de la Ciudad y en la sede de la Dirección de Higiene Industrial, de la Secretaría de Salubridad y Asistencia (S.S.A.), en Tacuba. Estas estaciones medían bióxido de carbono, polvo sedimentable, partículas suspendidas totales, otras estaciones fueron integradas posteriormente con la Red Panamericana de Muestreo Normalizado configurada por 10 estaciones, contando para ello con la cooperación de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), mismas que operaron hasta 1972, en esta etapa la metodología de medición fue de origen inglés, no propia, ni adecuada para llevarse a cabo en el monitoreo de la calidad del aire en México (Bravo, com. per.). La metodología de análisis utilizada por la OPS en estas estaciones para la determinación de la concentración de bióxido de azufre en aire ambiente, fué el método del peróxido de hidrógeno; para las partículas suspendidas, el método de estimación de la mancha en papel filtro por reflectometría; y para las partículas sedimentables por gravedad el método de jarras. Los métodos mencionados anteriormente con excepción del de jarras (partículas sedimentables) presentaban diversos problemas de especificidad, representatividad y adecuación para su utilización en México. Es en este momento cuando por vez primera se empieza a llamar la atención sobre la presencia de contaminantes en la atmósfera de la Ciudad de México, y de sus posibles implicaciones en el ambiente a mediano plazo. Bravo en 1958 señala: "Resulta casi obvio señalar que, si el crecimiento de la Ciudad de México sigue en la proporción de sus últimos diez años, en un término semejante, las condiciones de polución atmosférica, llegarán a ser tan graves como las de Los Angeles, California o de Londres, ya que no se concibe ni siquiera la posibilidad de que puedan transformarse las condiciones geográficas o atmosféricas del Valle." Es a principios de la década de los setenta cuando se operó de manera continua una estación piloto para la medición en tiempo real de CO y SO<sub>2</sub>. A partir de 1974 se integra y entra en operación la primera red automática para el monitoreo continuo de la calidad del aire con enlace telemétrico a un centro de operaciones, este sistema estuvo integrado por 20 estaciones que contaban con monitores para la determinación de O<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y PM-10. Este sistema se complementó con estaciones meteorológicas que registraban la velocidad, dirección del viento, temperatura y humedad relativa, el cual operó muy deficientemente hasta el año de 1980. (Bravo, com.per.). En el año de 1976 se instala y comienza a operar la Estación de Monitoreo de contaminantes atmosféricos de la Universidad Nacional (Tabla 1.1.), ubicada hasta la fecha en Ciudad Universitaria (Bravo, et al, 1976), y se realiza por vez primera un estudio piloto de campo para obtener simultánea y continuamente datos de parámetros meteorológicos, de calidad del aire relativo a contaminantes tales como: el ozono, hidrocarburos totales, óxidos de nitrógeno y radiación ultravioleta en dos sitios diferentes de la Ciudad, así mismo se contó con el apoyo de una Unidad Móvil especialmente diseñada y equipada para tal efecto.

La sospecha de la existencia del ciclo fotoquímico en la Ciudad de México fue demostrada en la atmósfera de la Ciudad Universitaria (Bravo, et al, 1978). Se confirma que la emisión de óxidos de nitrógeno y de hidrocarburos que son necesarios para la formación de ozono, los cuales son emitidos a tempranas horas del día coincidente con el inicio de actividades económicas y de tráfico vehicular, aunado a la formación nocturna de la capa vertical de inversión de temperatura, así como las características fisiográficas de la Cuenca de y su limitada ventilación, así como la estructura vertical técnica de la atmósfera pueden establecer y acelerar la formación de oxidantes durante las primeras horas de la mañana.

En el período comprendido de 1976-1982 la red manual de monitoreo fue rediseñada, este proceso comprendió 16 estaciones de muestreo de partículas y bióxido de azufre. Durante el tiempo que operó la red de monitoreo, presentó múltiples problemas operativos y de mantenimiento, la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente dentro del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (Proyecto de Mejoramiento Ambiental), adquirió 48 nuevas

estaciones de monitoreo de tipo manual, de las cuales 22 se instalaron en el área metropolitana de la Ciudad de México y las restantes en el interior del país.

Tabla 1.1. Técnicas analíticas de monitoreo atmosférico

PARÁMETRO	EQUIPO	TÉCNICA ANALÍTICA	TÉCNICA DE CALIBRACIÓN	RESPUESTA
Ozono (O <sub>3</sub> )	Analizador Beckman modelo 950	Quimiluminiscencia	Interna, método de KI.	± 3 seg.
Óxidos de nitrógeno (NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> )	Analizador Beckman mod. 952	Quimiluminiscencia.	Gases estándar de calibración	± 3 seg.
Hidrocarburos totales (HC)	Analizador Beckman mod. 400	Ionización de flama.	Gases estándar de calibración	± 0.5 seg.
Radiación ultravioleta (uv)	Radiómetro Eppley	Sensor	Electrónica	± 0.5 seg.

Fuente: Bravo H., 1992.

Las estaciones contaban con equipos automáticos y manuales entre los que destacan los muestreadores de altos volúmenes para la determinación de partículas suspendidas totales y de burbujeadores para el muestreo de gases, destinados para la determinación de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> entre los más importantes. Los métodos para la determinación de química húmeda utilizados, eran los de West, Gaeke, Saltzman (Ioduro de Potasio). Esta red, (Red Phillips) de fabricación Holandesa, estaba constituida de 20 estaciones fijas y dos móviles. De las primeras, 5 contaban con monitores de partículas, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> y O<sub>3</sub>, así como de estaciones meteorológicas para el registro de la dirección y velocidad del viento, humedad relativa y la temperatura; en las 15 estaciones restantes únicamente se contaba con monitores de CO y SO<sub>2</sub>. De estas 20 estaciones solamente se instalaron 16, sin haberse integrado totalmente por problemas técnicos que presentó la instalación y operación de los monitores de Phillips. Por otra parte las estaciones móviles estaban equipadas con instrumental meteorológico y monitores de SO<sub>2</sub> y CO y colectores de polvos. La poca información de esta red, que era obtenida en forma continua, se procesaba en un minicomputadora que generaba reportes, horarios y diarios. Los métodos de determinación utilizados por esta red eran de tipo coulométrico para CO y químicoluminiscente para O<sub>3</sub> y de atenuación beta para los analizadores de partículas menores de 5 micras (CMPCCAVM, 1994).

Debido a la poca efectividad de la red instalada, se procedió al diseño de una nueva red de monitoreo automático, la cual es precursora de la RAMA actual. Esta red fue instalada por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología durante 1984-85. La Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), se diseñó siguiendo los criterios de redes de monitoreo atmosférico establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA). Como resultado de los estudios de diseño de la RAMA se recomendó la ampliación y consolidación de 10 estaciones para la medición de dirección y velocidad del viento, humedad y temperatura, así como la adquisición y operación de dos radares acústicos a fin de conocer en tiempo real el perfil vertical de temperatura en la Ciudad. Según los criterios de operación y mantenimiento, con el objeto de redimensionar la red, se acordó agrupar las estaciones individuales en 25 estaciones combinadas (Tabla 1.2.). La distribución se realizó en dos magnitudes, la macro ubicación de las 25 estaciones se generó sobre la base de áreas residenciales, industriales y comerciales, con énfasis en fuentes estacionarias de emisión de contaminantes, de la Red Manual de Monitoreo (Fig. 1.1.). La ubicación *in situ* y la ubicación de las tomas y puertos de muestreo se fundamentaron en criterios establecidos por la EPA, las estaciones tanto de la Red Manual como

Automática de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México, se encuentran ubicadas en la mayoría de los casos en instalaciones públicas y oficiales Fig.1.2.

Tabla 1.2 Instrumentación de las estaciones de monitoreo

No. Estación	PS	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	HC	H <sub>2</sub> S	METEOROLOGÍA
1			X					
2		X						
3		X						
4		X				X	X	X
5	X	X						X
6	X	X						
7	X	X						
8	X	X						
9	X	X			X			X
10		X			X			
11	X	X	X	X	X			X
12	X	X	X	X	X			X
13	X	X	X	X	X	X	X	X
14	X	X	X	X	X			X
15	X	X	X	X	X			X
16	X		X		X			X
17	X	X			X	X		
18	X		X		X			
19	X		X					
20	X		X					
21			X					
22			X					
23			X					
24			X					
25			X					

Fuente: RAMA-DDF

La selección de la instrumentación se basó en la tecnología más adecuada existente en los Estados Unidos de América principalmente, aunque se probó instrumentación de Japón y Alemania que al final no se aplicó. Señalando que los criterios se definieron considerando el cumplimiento de la certificación del principio o método de detección, ya sea como método de referencia o equivalente establecidos por la US-EPA (Tabla 1.3.).

**Tabla 1.3 Equipo de Monitoreo Atmosférico Automático**

PARAMETRO	FABRICANTE	MODELO	PRINCIPIO DE OPERACION	REGISTRO USEPA
Partículas	GCA Corporation	RAM-S	Dispersión luminica	
Dióxido de Azufre	Thermoelectron Corp.	43	Fluorescencia UV Pulsante	EOSA-027-009 1
Monóxido de carbono	Idem	48	Absorción IR con filtro gaseoso de correlación	RFCA-0981-054 2
Ozono	Idem	49	Fotometría ultravioleta	EQOA-0880-047 3
Oxidos de nitrógeno	Idem	14 B/E	Quemiluminiscencia en fase gaseosa	RFNA-0179-035 4
Ácido sulfhídrico	Idem	45	Fluorescencia UV pulsante	
Hidrocarburos	HNU Systems Inc	PI-201	Fotoionización UV	
Humedad relativa y temperatura	Viasala	HMI 14	Capacitor de película delgada de polímero/termistor	
Velocidad y dirección del viento	Climatronics	F-460	Veleta y anemómetro "Convencional"	
Altura de capa de mezclado	Aerovironment	300	Radár sónico monoestático	

Notas: (1) Federal Register, Vol. 45 Pág. 2700 - 1/14/80

(2) Ibid 1, Vol. 46 Pág. 47002 9/23/81

(3) Ibid 1, Pág. 57168 8/27/80

(4) Ibid 1, Vol. 44, Pág. 54545 9/20/79

**Fuente: CMPCCAVM, 1995.**

La configuración de la red fue la siguiente:

CONTAMINANTE	NUMERO DE ESTACIONES	CRITERIO APLICADO
Partículas suspendidas totales	15	EPA
Dióxido de azufre	15	PNUMA-OMS-OMN/EPA
Oxidos de nitrógeno	15	Promedio ONU/EPA
Ozono	10	Promedio ONU/EPA
Monóxido de carbono	15	EPA

La RAMA fue proyectada en tres etapas, integración, ampliación, reforzamiento y consolidación; la integración se inicia en 1984 con 25 estaciones, y es hasta 1991 cuando se amplió y reforzó para tener una mayor cobertura territorial y analítica. Se instalaron adicionalmente 7 estaciones, ubicadas en los municipios del Estado de México conurbados con el Distrito Federal. Lo anterior con el objeto de evaluar la interacción y formación de contaminantes secundarios, especialmente el ozono y primarios como los óxidos de nitrógeno y material particulado en tiempo real. La etapa de consolidación se estableció a partir de 1993, con la incorporación de un sistema de control y aseguramiento en tiempo real de la información generada, y la introducción de nuevos métodos y tecnologías para la determinación de compuestos volátiles orgánicos y compuestos tóxicos gaseosos. Se tiene contemplado la ampliación de la red hacia zonas perimetrales a la mancha urbana identificadas como fuentes de área de aporte significativo de contaminantes, tal es el caso

del corredor Tula-Vito-Asasco, y de zonas potencialmente receptoras como el Corredor Biológico Ajusco-Chihinautzin (CMPCCAVM, 1995).

Los equipos de monitoreo que conforman a cada una de las estaciones de la RAMA incluyendo algunos de los existentes en la estación de monitoreo del Centro de Ciencias de la Atmósfera, se caracterizan por presentar principios de detección específica para cada contaminante analizado, los cuales se describen brevemente a continuación:

Para el muestreo y análisis de partículas suspendidas menores a 10 micrómetros, el principio de detección se basa en la determinación de la dispersión de las partículas suspendidas en un determinado volumen de muestra; la dispersión lumínica en un ángulo entre 45° y 95° es determinada por un sensor de silicón y la señal generada es proporcional a la concentración de partículas presentes.

La determinación de SO<sub>2</sub> es a partir del principio de detección de fluorescencia pulsada, en el cual la emisión fluorescente de las moléculas del mismo al ser activadas por un haz de radiación ultravioleta pulsante de banda estrecha genera una emisión resultante que se transforma a una señal o potencial eléctrico proporcional a la concentración de SO<sub>2</sub> presente en la muestra.

La determinación de ozono de los equipos instalados en la RAMA se basa en la capacidad de absorción de luz ultravioleta de este contaminante. A partir de la intercomparación de la absorción uv en dos muestras de aire, previa conversión de todo el ozono u oxígeno de una de ellas por medio de un catalizador específico. En ambos casos, la luz ultravioleta transmitida es medida. La diferencia entre las dos lecturas es directamente proporcional a la concentración de ozono presente en la muestra, de acuerdo a lo establecido en la Ley de Lambertt y Beer.

Para determinar el monóxido de carbono en el aire ambiente, se utiliza como principio de detección la técnica de correlación de gas filtrado. Esta técnica consiste en hacer pasar un haz de luz infrarroja en forma alternada a través de dos celdas selladas de cuarzo, una con CO, con concentración conocida y otra con nitrógeno. En la primera, se genera un haz de referencia que ya no puede ser absorbido por el CO de la muestra; ambos haces de infrarrojo pasan posteriormente, en forma secuencial, a incidir en un filtro de banda angosta para eliminar ruido y ser medidos en un detector infrarrojo. La concentración de CO resultante es proporcional a la diferencia entre las medidas de los dos haces.

La determinación de los óxidos de nitrógeno se lleva a cabo mediante la reacción químicolumiscente entre el NO<sub>x</sub> y el ozono. La luz generada es detectada a través de un filtro óptico conectado a un fotomultiplicador de alta sensibilidad. La medición del NO se efectúa en el mismo equipo previo su conversión a NO<sub>x</sub>.

Los monitores de ácido sulfhídrico combinan el analizador de SO<sub>2</sub> con un convertidor de H<sub>2</sub>S a SO<sub>2</sub> y un depurador previo para eliminar el SO<sub>2</sub> originalmente presente en la muestra.

Por último la detección de hidrocarburos, con excepción del metano, se lleva a cabo mediante un detector de fotoionización, el cual utiliza una lámpara de radiación ultravioleta para ionizar las diversas moléculas de hidrocarburos más pesados que el metano, la corriente de iones detectada es proporcional a la concentración de hidrocarburos presentes; otra forma de determinar hidrocarburos, es por medio de un detector de ionización de flama que analiza un flujo continuo de una muestra de aire ambiental que ha sido pasada a través de un aparato de Cromatografía de Gases con una columna adecuada para la separación de los hidrocarburos.

Como complemento se cuenta con una red de estaciones meteorológicas, cada estación cuenta con sensores meteorológicos de tipo convencional para la dirección y velocidad del viento, el sensor de temperatura es de termistor y el de humedad de tipo capacitor de capa delgada de polímero. Adicionalmente se operan dos radares acústicos del tipo monoestático, con los cuales se determina la altura de la capa de mezclado mediante el envío de impulsos acústicos en sentido

vertical hacia la atmósfera y la recepción de su eco (Estación de Radiosondeo del Aeropuerto, SENEAM, y la Estación Palacio Legislativo de la RAMA). La información generada en cada una de las estaciones es transmitida por un sistema de comunicación a través de módem y líneas telefónicas privadas y/o conmutadas al Sistema de Información de Calidad del Ambiental (SIMA), donde es procesada, almacenada y donde se generan y transmiten diversos reportes de la calidad del aire tales como: promedio horario continuo, variaciones diarias, valores diarios, IMECA, valores de viento, captura de datos, etc.

La Red Automática de Monitoreo (RAMA), que se crea en el año de 1982, ha sufrido muchos cambios, hasta 1992 estaba constituida por 32 estaciones de monitoreo, distribuidas en la ZMCM de la siguiente manera: 21 corresponden al Distrito Federal y las 11 restantes al Estado de México Fig.1.4. La red muestrea y analiza en tiempo real la presencia y concentración de ozono  $O_3$ , bióxido de azufre  $SO_2$ , monóxido de carbono  $CO$ , bióxido de nitrógeno  $NO_2$ , óxidos de nitrógeno  $NO_x$  y la fracción respirable de las partículas suspendidas  $PM_{10}$ . En 1992 se estableció el sistema de evaluación de la calidad del aire el cual, se integra por tres subsistemas, siendo estos: la Red Automática de Monitoreo Atmosférico, la Red Manual de Monitoreo Atmosférico y la Red Meteorológica.

En enero de 1992 se integra la Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México (CMPCCAVM), su secretariado, su consejo asesor, está constituido por autoridades gubernamentales, especialistas y representantes de todos los sectores involucrados en la problemática, para intercambiar opiniones y posiciones sobre el tema, y de esta manera poder tomar decisiones sobre la problemática. La Comisión Metropolitana estuvo presidida por el Jefe del Departamento del Distrito Federal durante el período de 1992-1994 y a partir de 1994, su presidencia recae en el Gobernador del Estado de México y en 1996 su presidente es el titular de la SEMARNAP (fig. 1.5). La integración y gestión de los programas se realiza por medio del Secretariado Técnico. Los programas se deben presentar al Consejo Asesor para su discusión y aprobación por consenso. El consejo asesor debe ser teóricamente informado de los avances de los programas (fig. 1.6.).

El objetivo de la Comisión Metropolitana es proporcionar de manera sistemática y permanente información que permita detectar la presencia y tendencia de contaminantes en la atmósfera y factores meteorológicos que determinen la calidad del aire en la ZMCM y poder evaluar las estrategias de control aplicadas a partir de la información generada por el sistema de evaluación de la calidad del aire. En marzo de 1996 se firma el Convenio General de Concertación Ambiental, con el objeto de llevar a cabo el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000, siendo las dependencias responsables el Departamento del Distrito Federal, el Gobierno del Estado de México, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca y Secretaría de Salud. A partir de este momento la Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México, se reestructura conformando lo que actualmente se reconoce como la Comisión Ambiental Metropolitana. Es a partir de este momento que a partir de la asimilación de las causas de fondo de la contaminación atmosférica y el inventario de emisiones que se establecen las metas a desarrollar durante el siguiente lustro. Estas metas pretenden tener la cobertura general de los aspectos sobre los cuales hay posibilidades de incidir para modificar el estado de la calidad del aire (fig. 1.7.), a excepción de la acción de las variables exógenas, tales como lo son las condiciones atmosféricas (DDF, 1996).

## 1.2. Evolución de la ZMCM.

La evolución de la ZMCM expresado en la integración del espacio territorial correspondiente al Distrito Federal y los Municipios Conurbados del Estado de México, es el sitio geográfico en donde se concentran y se desarrollan el 25% de las actividades comerciales, industriales y de servicios del país. La distribución de la ciudad presenta una multiplicidad de usos del suelo y sobre la base de esta distribución se ha generado una zonificación político, económico y social regida por un esquema de Gobierno, que no satisface en la mayoría de los casos las necesidades de calidad de vida de la población. En esta problemática el traslado de la población que articula la actividad de

la ZMCM se ve reflejado en el consumo de combustibles fósiles no adecuados, siendo la principal fuente de generación y emisión de contaminantes primarios, tales como: el CO, SO<sub>2</sub>, NO-NO<sub>2</sub>-NOx y HCT, y las partículas suspendidas sedimentables.

Fig. 1.4 Red automática de monitoreo atmosférico de la ZMCM (RAMA)

Fuente: CMPCCAVM, 1995.

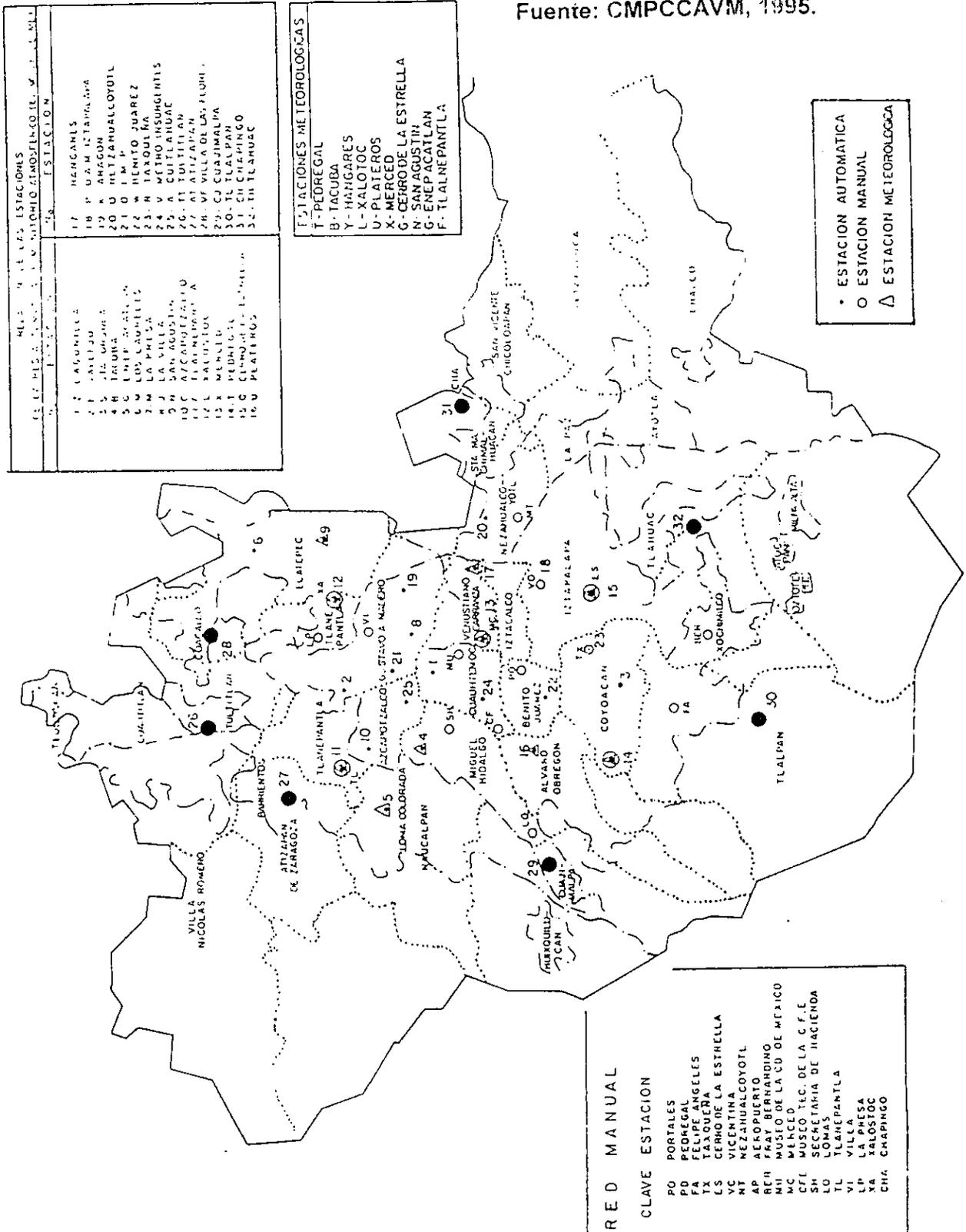


Fig. 1.5 Comisión Ambiental Metropolitana.



Fig. 1.6. Consejo asesor de la CAM.

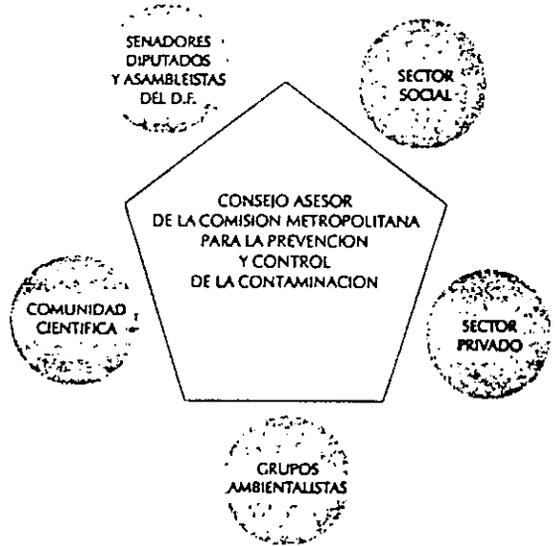
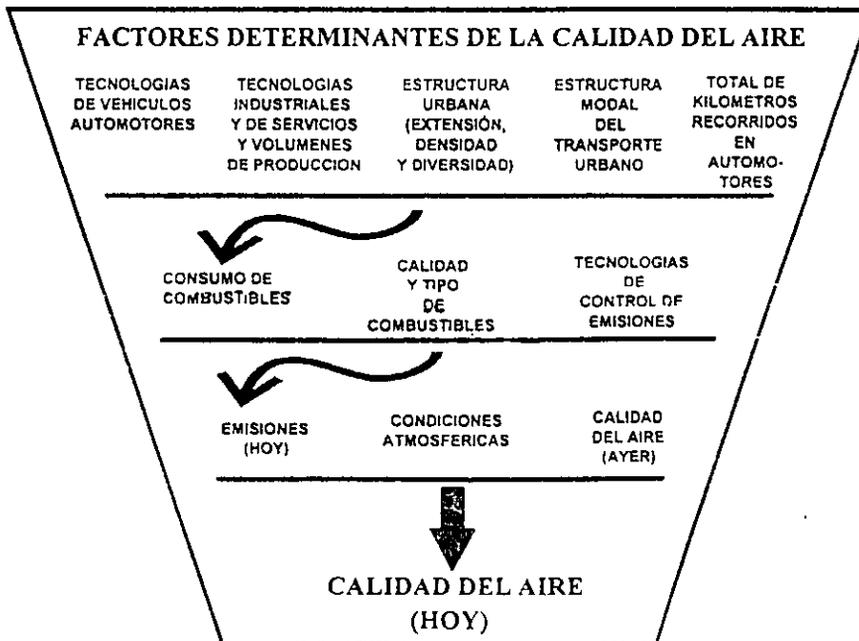


Fig. 1.7. Factores y criterios para mejorar la calidad del aire  
Fuente: DDF, 1996.



El tipo de desarrollo aplicado en la Ciudad de México en los últimos 15 años ha generado el crecimiento descontrolado de la población, la centralización de la economía del país así como la carencia de planeación, ordenamiento del uso del suelo y manejo de los recursos naturales, lo cual ha dado como resultado un deterioro de las condiciones ambientales dentro de su zona de influencia, a un grado de tal dimensión, que es cuestionable su sustentabilidad en la prospección y la simulación de escenarios futuros a corto, mediano y largo plazo.

La problemática ambiental generada por la emisión a la atmósfera de contaminantes y la descarga a los cuerpos de agua y suelo de residuos sólidos (peligrosos, no peligrosos y potencialmente peligrosos) que inevitablemente concurren con todo asentamiento humano, es producto de un proceso histórico y social. Hasta la tercera década de este siglo, la contaminación ambiental producida por asentamientos humanos no fue palpable en su magnitud real, debido a que la capacidad de dilución y auto purificación de los recursos disponibles en el aire, agua y suelo eran suficientes para disiparlos y/o absorberlos. Sin embargo, todo sistema físico, químico o biológico tiene un límite de saturación o de capacidad de carga, más allá del cual los contaminantes no se diluyen o degradan sino se concentran. Este fenómeno ha generado, en las últimas décadas, situaciones de verdadero conflicto entre el crecimiento y la calidad del ambiente, porque se registra paulatinamente un incremento en los niveles de contaminantes nocivos para el ser humano y para los ecosistemas, ocasionado por la descarga de materias contaminantes, el cual no se le dio la importancia debida por razones políticas y de desconocimiento de sus efectos, por ignorancia de la tecnología para combatirlos y principalmente por falta de una adecuada planeación, de investigación, control y asignación de recursos humanos y económicos para resolverlos de una forma sistemática y programada.

Ante la magnitud del problema, se han llevado a cabo una gran cantidad de estudios que muestran resultados que deben preocuparnos profundamente y que han servido de base para la elaboración de programas, instrumentos, políticas y estrategias de control que la seriedad del caso amerita. Sin embargo, los resultados son aún poco satisfactorios dada la magnitud y complejidad de la problemática real y la falta de un criterio científico serio. Lo cual hace necesario la evaluación de los programas, las estrategias y las acciones ejecutadas para enfrentar la problemática. Es importante conocer el impacto verdadero de las decisiones tomadas, los recursos asignados y los alcances logrados; con el objeto de consolidar los programas que muestren efectividad, discusión y adecuación los que no están logrando los resultados esperados en sus objetivos y la dirección de proyectos alternativos y acciones de control de contaminantes en su dimensión real.

## Capítulo II.

# Calidad del Aire y Monitoreo Ambiental.

### 2.1 Calidad del aire y meteorología.

#### 2.1.1. Calidad del aire.

Se debe distinguir el término de calidad del aire, que implica aire ambiental exterior, del aire en el interior de una industria, del hogar o el de un lugar de trabajo. Este último se relaciona con salud ocupacional y junto con la prevención y control de la contaminación en lugares de trabajo, que se integra en el campo de la higiene industrial. La calidad del aire ambiental se determina en función de las normas de calidad del aire, de los varios contaminantes para los cuales se han elaborado primeramente los criterios de calidad correspondientes. Estos criterios para cada contaminante, representan la mejor información científica disponible en el momento sobre las características físico químicas de los contaminantes, su evaluación y la relación de la concentración en el aire del contaminante en cuestión y sus efectos en el hombre y su medio ambiente (Bravo, 1987).

Los criterios de calidad del aire son descriptivos; es decir, describen los efectos en la salud y el medio ambiente que han sido detectados a nivel internacional frente a la exposición de diferentes niveles de contaminantes observados en diferentes períodos específicos. Para desarrollar estos criterios se consideran diferentes variables: características fisicoquímicas del contaminante, tiempo de exposición, humedad relativa, temperatura, etc. El documento de criterio debe tomar en cuenta la contribución de todas estas variables a los efectos observados en la salud, la agricultura, los materiales, la visibilidad, el clima, etc., considerando también las características del receptor. Las normas de calidad del aire para contaminantes específicos, son prescriptivas, y recomiendan la concentración de un contaminante o un conjunto de contaminantes, que no debe excederse por una frecuencia y un período de tiempo dado, las cuales pueden tener aplicación internacional, nacional, estatal y/o local.

El estado de la calidad del aire se define con base en los niveles de los contaminantes, para los que se han publicado los criterios de calidad correspondientes y los cuales, a su vez, son el apoyo para promulgar las normas de calidad de aire; estas se clasifican en primarias y secundarias. Las normas de calidad del aire primarias son aquellas que, con un margen adecuado de seguridad, protegen la salud. Las normas secundarias definen los niveles de la calidad del aire que protegen el bienestar de la población y a los recursos naturales o bienes de cualquier efecto adverso conocido o anticipado de los contaminantes. Estas normas son o deben ser sujetas a revisión periódica, para ser modificadas de acuerdo con los nuevos hallazgos científicos en caso necesario.

Las primeras normas de calidad del aire publicadas en nuestro país bajo el nombre de: "Los lineamientos para determinar el criterio que servirá para evaluar la calidad del aire en un determinado momento." (Diario Oficial Federación; 29 Noviembre de 1982). En esta "norma" se define erróneamente como criterio, generando una confusión al momento de su publicación. En la Tabla 2.1. se presentan las normas de calidad del aire vigente hasta diciembre de 1994. y en la Tabla 2.2 se presenta las Normas Oficiales Mexicanas de calidad del aire vigente desde diciembre de 1994.

**Tabla 2.1 Concentraciones base para evaluar la calidad del aire, vigentes hasta dic. 1994**

CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN PROMEDIO	TIEMPO DE PROMEDIO
Part. totales en suspensión	275 microgramos/m <sup>3</sup>	24hr
Bióxido de azufre	0.13 ppm	24 hr
Monóxido de carbono	13.0 ppm	8 hr
Dióxido de nitrógeno	0.21 ppm	1 hr
Ozono	0.11 ppm	1 hr

### 2.1.2. Calidad del aire para ozono en la ZMCM.

Según los datos generados por la estación de monitoreo ubicada en el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, para el contaminante ozono durante el periodo comprendido de 1984 a 1996 se puede apreciar una clara tendencia en número de violaciones totales anuales a la norma de calidad del aire (0.11 ppm O<sub>3</sub> promedio horario), presentando un claro incremento sostenido a partir del año de 1986 observándose un significativo descenso durante los años de 1992 a 1994 recuperando su tendencia para 1995 y 1996.

Con base en la información generada por cinco estaciones ubicadas en Tlalnepantla, Merced, Xalostoc, Pedregal, y Cerro de la Estrella, de las treinta y dos estaciones que forman parte de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) de la Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México para el contaminante ozono, se puede establecer el siguiente comportamiento: El análisis de la distribución de frecuencias y las tendencias de los niveles de concentración de ozono registrados por la RAMA en el periodo de 1986 a 1989, demuestra que los datos horarios de ozono, presentan frecuencias que rebasan la norma nacional de calidad del aire para este contaminante (0.11 ppm, máximo horario, equivalente a 100 IMECA para el ozono), mostrando un comportamiento de 1986 a 1989, el cual tiende a mantener niveles altos en las cinco zonas evaluadas. En estas cinco estaciones la norma de calidad del aire se excedió, en el año de 1988, desde un mínimo de 16% de los días del año en Xalostoc, a un valor máximo de 72% en el Pedregal. El porcentaje de veces de los niveles de contaminación diarios fue superior a la norma de calidad del aire, considerado el IMECA en Tlalnepantla, Merced y el Cerro de la Estrella que fue de 40%, 50%, y 20% respectivamente.

Se reconoce claramente un gradiente de concentraciones que tiende a incrementarse en el eje NNE-SSO, es decir, de Xalostoc al Pedregal. En la estación Pedregal, se han detectado los niveles más altos de contaminación por ozono que prevalecen en la zona sur-oeste de la cuenca. Las concentraciones máximas horarias registradas rebasan con cierta frecuencia durante el año valores de hasta 3 veces (0.33 ppm) la norma de calidad del aire (0.11 ppm.). En la figura 2.2. se presenta, de una forma global, el porcentaje de violaciones a la norma de calidad del aire en el Valle de México registrado en cinco estaciones de la RAMA de 1986 a 1989.

El comportamiento diurno de las concentraciones de ozono en el Valle de México, el cual se ilustra en la figura 2.3. mediante datos obtenidos por la estación Pedregal, es típico del que ocurre en la temporada de invierno, se presenta un valor máximo entre las 13:00 y 15:00 h, en donde se puede apreciar el número de horas fuera de la norma de calidad del aire, y que decrece posteriormente a valores cercanos a cero en el rango promedio de 0.05 ppm de ozono durante la noche.

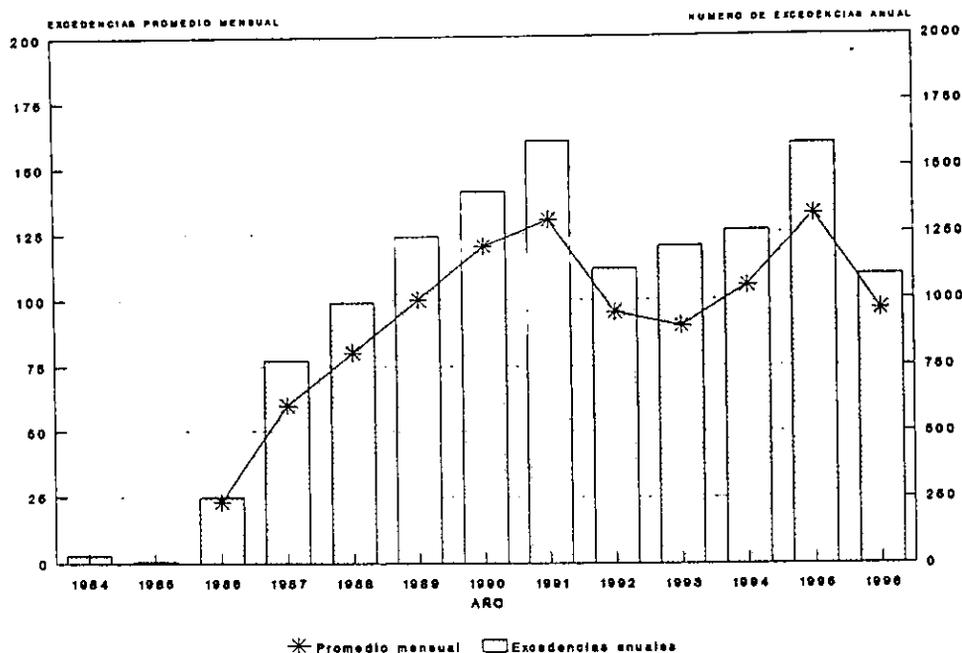
Con base en la misma información de la RAMA, en las cinco estaciones estudiadas, se puede apreciar una evolución de los niveles de contaminación por ozono en el periodo comprendido de 1986 a 1989. Afirmaciones expresadas por entidades gubernamentales encargadas del monitoreo de la calidad del aire en la ZMCM establecen que: "en esta gráfica ( ver Fig. 2.2.) no se puede identificar claramente una tendencia al incremento o a la reducción de dichos niveles en ese lapso. Las fluctuaciones observadas se pueden asociar a variaciones en las condiciones meteorológicas prevalecientes en esos años" (DDF, 1990). Los datos desplegados anteriormente, permiten establecer que toda la ZMCM presenta niveles de ozono que exceden, durante gran parte del año, la norma de calidad del aire.

Tabla 2.2. Normas y principios de detección de contaminantes atmosféricos criterio en México, DOF. 1994.

NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE EN MEXICO 1994					
CONTAMINANTE	NORMA OFICIAL MEXICANA	LIMITES MAXIMOS NORMADOS	FRECUENCIA	METODO DE PRUEBA	PRINCIPIO DE DETECCION
Ozono O <sub>3</sub>	NOM-020-SSAI-1993	[ppm] 0.11 [µg/m <sup>3</sup> ] 216	Una hora, una vez al año, en un periodo de tres años.	NORMA DE REFERENCIA NOM036-ECOL-1993	Quimolumincente Fotometria de luz ultravioleta.
Mónóxido de carbono CO	NOM-021-SSAI-1993	11.0 12,595	Promedio móvil de 8 hrs. una vez al año.	NOM-034-ECOL-1993	Infrarojo no dispersivo (NDIR).
Bióxido de azufre SO <sub>2</sub>	NOM-022-SSAI-1993	0.13 0.03 79	En 24 hrs. una vez al año. En media aritmética anual.	NOM-038-ECOL-1993	Fluorescencia pulsante.
Bióxido de Nitrógeno NO <sub>2</sub>	NOM-023-SSAI-1993	0.21 395	Una hora una vez al año.	NOM-037-ECOL-1993	Quimolumincente
Partículas Suspendidas Totales PST	NOM-024-SSAI-1993	260 75	En 24 hrs. en un periodo de un año. En una media aritmética anual.	NOM-035-ECOL-1993	Gravimétrico.
Partículas menores a 10 micras PM10	NOM-025-SSAI-1993	150 50	24 hrs. una vez al año. Media aritmética anual.	Los que determine el INE.	Gravimétrico. Atenuación de radiación beta Gauge*. Microbalanza oscilatoria*.
Plomo Pb	NOM-026-SSAI-1993	1.5	En un periodo de tres meses promedio aritmético	Los que determine el INE.	Espectroscopia de absorción atómica*

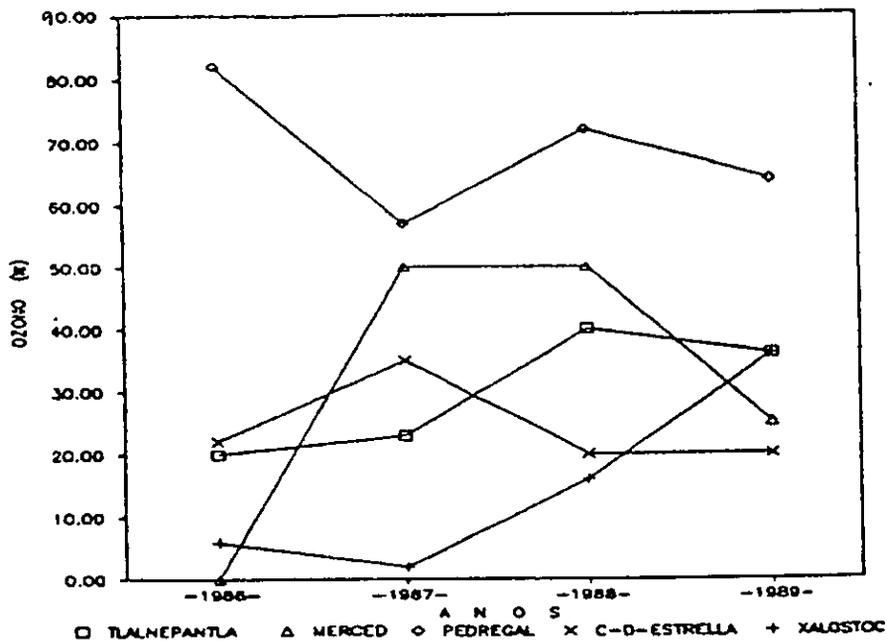
\* Métodos analíticos validados por la EPA.

Fig. 2.1 Promedio mensual y excedencia anual a la norma de ozono en C.U. 1984-1996



Norma de calidad del aire ambiente para ozono: 0.11 ppm en 1 hora en 1 día en 1 año, Fuente: CCA-UNAM

Fig. 2.2 Porcentaje de violaciones a la norma de ozono en cinco estaciones de la RAMA.



Fuente: DDF, 1990

Estos altos niveles inciden particularmente en la región sur-oeste del valle de México, en donde dicha norma se rebasó, para el año de 1988, con una frecuencia de más del 70% (Dirección General de Ecología, DDF, 1990).

Desde un punto de vista del análisis de riesgo, el hecho de que en la ZMCM se rebasa prácticamente todos los días del año la norma de ozono y que estas excedencias a la norma ocurren en toda la zona urbana, permite reconocer por parte de las autoridades ambientales que el 100% de la población de la ciudad se ve expuesta con frecuencia y por periodos de más de una ó más horas, a concentraciones de ozono superiores a 0.11 ppm (norma actual). Adicionalmente, un porcentaje importante de la población (aquellos que trabajan o se ejercitan al aire libre, y quienes viven en la zona suroeste de la ciudad) se ve expuesto con frecuencia a concentraciones de por lo menos dos veces la norma actual (DDF, 1996).

Los resultados anteriormente señalados fueron generados por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM y la Red Automática de Monitoreo Atmosférico del DDF, y el objeto de su presentación es el de poder compararlos durante el periodo comprendido de 1984 a 1996.

## 2.2. Meteorología.

El estado de la calidad del aire, además de ser función directa de los contaminantes emitidos a la atmósfera, es también influenciado por las características meteorológicas y topográficas del área de estudio. Por lo que es un factor fundamental considerar las condiciones meteorológicas de la ZMCM, como factor relevante en el problema de la contaminación atmosférica, debido a que el comportamiento de ciertos parámetros influyen directamente en la dispersión y transformación de los contaminantes atmosféricos.

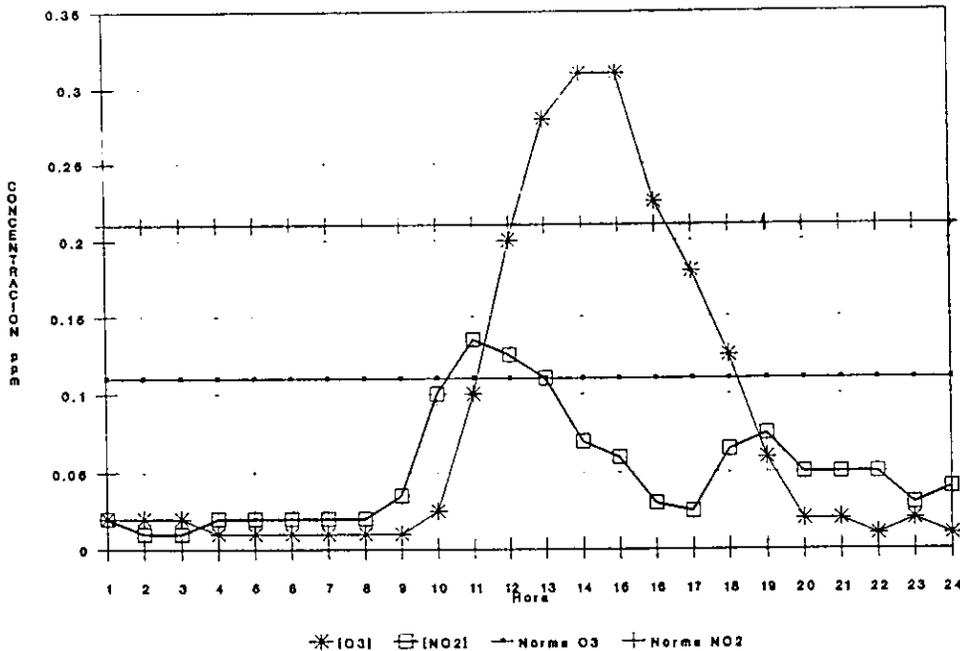
El aire en el centro de las ciudades es (a ciertas horas), generalmente más caliente que el de los suburbios o campos abiertos vecinos. Este es el llamado efecto de la "isla de calor" cuya intensidad es mayor mientras más grande es la ciudad (Chandler, 1965; Oke, 1973; Jáuregui, 1971; 1973; 1986). En valles y cuencas durante la noche los vientos catabáticos enfrían la superficie formando la inversión de superficie. Entre las razones que se argumentan para explicar el fenómeno, esta el calor generado por la combustión de hidrocarburos y gas, así como la mayor capacidad calórica y geometría del tejido urbano de calles y edificios. Así al amanecer cuando el aire es débil o está en calma, se genera una diferencia de temperatura, estas diferencias entre la ciudad y el campo llegan a ser en ocasiones de hasta 10 °C (Jáuregui, 1986). La gran urbanización y actividades tales como tránsito vehicular o la actividad industrial en áreas altamente pobladas, da como resultado un mayor efecto en el calentamiento del aire superficial, con ello, en parte se induce un incremento en la radiación y calentamiento de la masa de aire superficial, que origina el penacho térmico o isla de calor sobre el área central urbana. El viento es un factor del clima que facilita la dispersión de contaminantes, mientras más estable (menos turbulento), sea la capa de aire en donde se emiten los contaminantes, esta capa tendrá una menor capacidad de diluir los contaminantes y consecuentemente la concentración de contaminantes se incrementará.

La razón por la cual se considera fundamental el registro de parámetros meteorológicos tales como la velocidad y dirección del viento, es porque permiten conocer la incidencia en el desplazamiento de las masas de contaminantes, asimismo la radiación solar tiene una participación relevante ya que es el factor fundamental en la fotoquímica atmosférica y la que establece la definición de las condiciones de estabilidad atmosférica; así como el perfil vertical de temperatura, que puede originar situaciones de estancamiento de la masa de contaminantes, condiciones favorecidas por el efecto de las inversiones térmicas.

Las características topográficas locales (fig. 2.4.), y las condiciones meteorológicas pueden clasificarse de acuerdo con su extensión horizontal, en tres grupos: La macro meteorología, que comprende la circulación general de la atmósfera, la meteorología sinóptica donde se estudian

fenómenos que afectan a gran escala la República Mexicana, como por ejemplo un ciclón tropical o un frente frío. que abarcarían ambos hasta cientos de kilómetros de extensión:

Fig. 2.3. Variación horaria de O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub>  
9 de Enero 1989. Estación Pedregal.



Fuente: RAMA, 1990.

La micro meteorología, que estudia las condiciones meteorológicas de áreas relativamente pequeñas como un bosque, y, por último, la meso meteorología, que estudia las regiones entre el macro y micro, por ejemplo el área metropolitana de la Ciudad de México (Bravo, 1987).

Los efectos de la contaminación atmosférica deben considerar los últimos tres tipos de meteorología, ya que en algún momento puede ser el problema de contaminación atmosférica dependiente de alguno de ellos, como se ha demostrado en las correlaciones realizadas entre la acumulación de contaminantes y medidas aerométricas. La importancia de los factores meteorológicos en el transporte y difusión del ciclo de la contaminación atmosférica se encuentra bien documentada (Pasquill, 1962; Scorer, 1968).

Algunos fenómenos meteorológicos de transporte y difusión pueden ser complicados por la topografía del área, por ejemplo, los valles, cuando el flujo general es bajo, tienden a canalizar este flujo hacia los ejes del valle lo que produce un viento con una presencia de distribución bidireccional. Cuando el flujo general de viento es bajo y el cielo es claro, las diferencias en la velocidad de calentamiento y enfriamiento de varias porciones de la superficie y paredes del valle causan pequeñas diferencias en densidad y presión de la atmósfera, lo que resulta en la formación de pequeños patrones de circulación. Por lo tanto, el aire con mayor densidad (frío) tiende a fluir en la dirección general pendiente abajo del piso del valle.

En la figura 2.5., se ilustra la formación de una inversión de temperatura por radiación en la cuenca atmosférica o valle. Normalmente en la atmósfera, las capas de aire más frío están por arriba y las calientes abajo. En una inversión, se encuentran capas de aire caliente encima de capas de aire frío. Estas capas se pueden formar de varias maneras; por ejemplo, durante la noche en ausencia de calentamiento solar, la pérdida de calor de la tierra y del aire directamente encima, provoca la formación de la capa de aire pesada y fría sobre la superficie o también cuando las laderas de las montañas que circundan un valle se enfrían durante la noche, el aire

directamente encima de éstas también lo hace y, por su mayor densidad, escurre por las paredes de las montañas acumulándose en el fondo.

Fig. 2.4 Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM)  
Fuente: CCAUNAM.

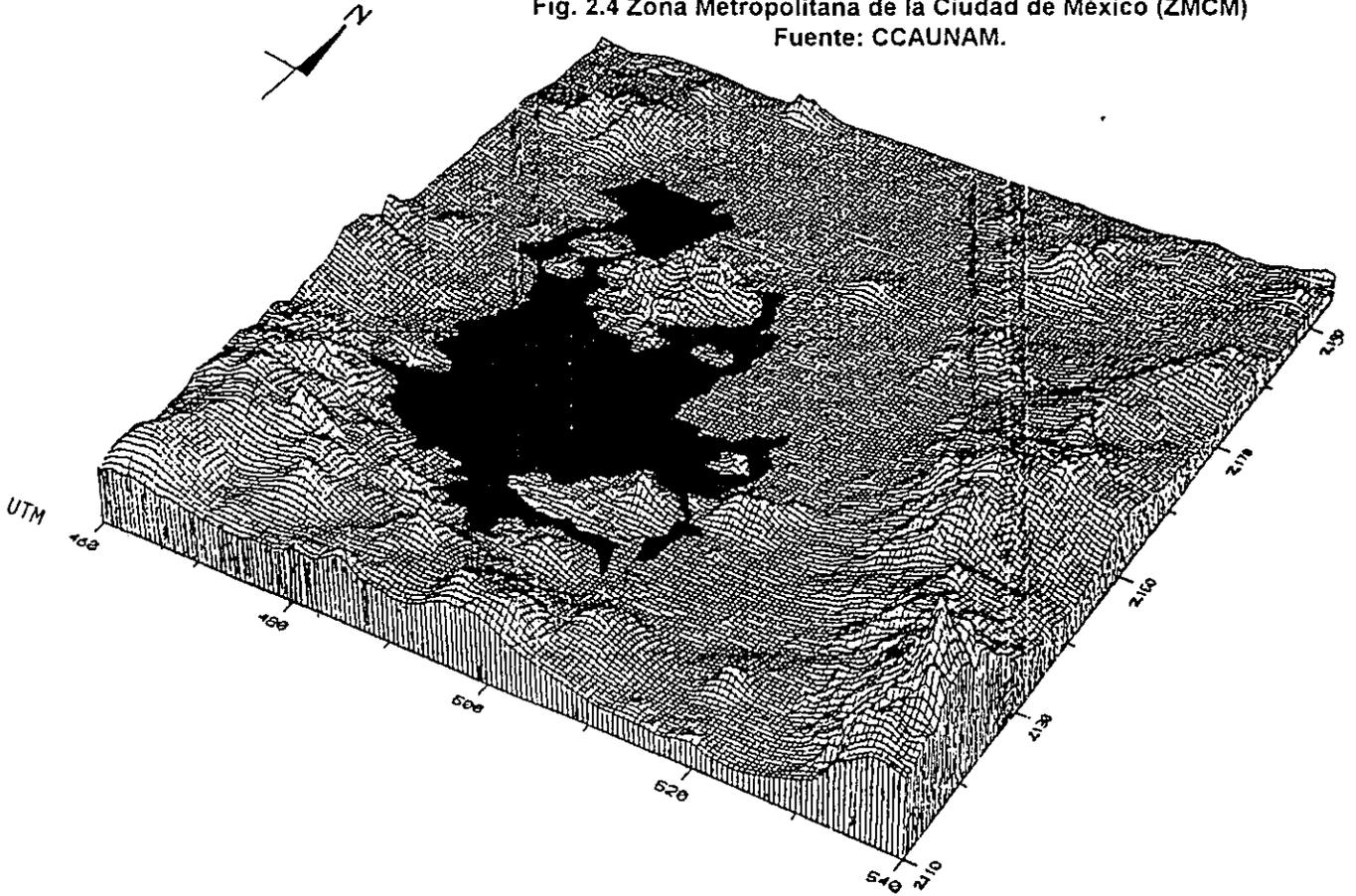
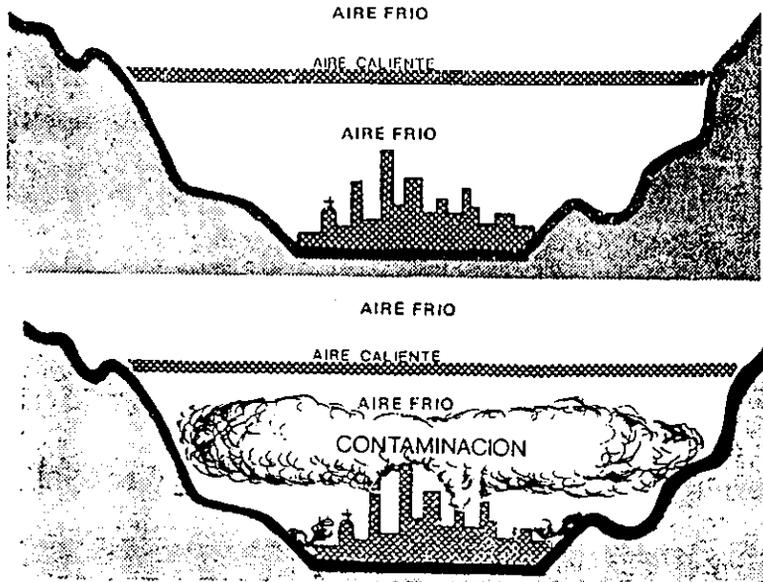


Fig. 2.5. Estancamiento de contaminantes e inversión térmica. Fuente: DDF, 1995.



Las condiciones de velocidad y dirección del viento superficial tienen su origen en los grandes sistemas meteorológicos que afectan al hemisferio norte; así, durante el período invernal (diciembre febrero) las masas de aire frío continental polar se desplazan del norte hacia territorio nacional, lo que provoca el descenso de la temperatura, heladas e inclusive nevadas, si existe suficiente humedad en el aire. (Fig. 2.6.).

Entre diciembre y mayo, en la atmósfera superior, se establecen vientos del oeste y en ocasiones se localiza sobre el valle la corriente de vientos máximos o corriente de chorro (jet stream). Cuando esta corriente, cuya velocidad supera los 60 nudos (111 km/hora), se acerca a la superficie terrestre, provoca vientos violentos y tolvaneras, principalmente en el oriente del valle. Este fenómeno se acentúa en los meses de febrero y marzo.

A fines de marzo, los sistemas anticiclónicos, tanto el del Atlántico como del Pacífico, afectan al Valle de México. El primero de ellos llamado Bermudas-Azores, generalmente tiene mayor influencia y su presencia propicia el aumento de la temperatura, cielos despejados y vientos débiles o en calma. (Fig. 2.7). Domina entonces un clima cálido y seco, condición que se observa normalmente hasta el mes de mayo. Durante la segunda mitad de ese mes se empieza a activar la zona intertropical de convergencia, principal generadora de ondas y ciclones tropicales. Junto con esa situación, se establece la temporada lluviosa, que dura hasta el mes de septiembre, con un período de sequía interestival de 15 días a fines de julio o principios de agosto.

Estadísticamente, las ondas tropicales (ondas del este) producen mayores precipitaciones que los ciclones, ya que la misma intensidad de sus vientos impide la formación de nubes cumuliformes, responsables de lluvias torrenciales (Fig. 2.8.).

Por último, a fines del mes de septiembre la atmósfera se estabiliza y a principios de octubre se detectan los primeros desprendimientos de aire frío, transición a la época invernal.

Por lo anterior se puede establecer el siguiente patrón de circulación del aire en el Valle de México. Las figuras 2.9. a 2.12., se muestran líneas de flujo del aire superficial para la época de secas (promedio octubre-abril) y para los meses de la estación lluviosa a dos horas características: 6:00 y la 14:00 h. Al caer la tarde y durante la noche, se establecen el flujo de vientos catabáticos que descienden de las laderas del poniente y sur de la ciudad. Estos vientos se encuentran con los que soplan del norte, cuesta abajo de la Sierra de Guadalupe. el resultado (Fig. 2.9. y 2.11.) es una convergencia horizontal del aire durante la noche y en las primeras horas de la mañana, tanto en la estación seca como en la lluviosa. la intensidad de estos vientos es de 1 a 2 m/seg. La convergencia de flujo refuerza la circulación convergente que se genera por la llamada "isla de calor" de la ciudad. Como el contraste térmico ciudad/campo es más acentuado durante el invierno, el flujo convergente es más marcado en esta época a las horas antes mencionadas. Esta condición determina, junto con la alta frecuencia de las inversiones, que sea en esta temporada cuando se alcanzan las mayores concentraciones de contaminantes.

En las figuras 2.10. y 2.12. aparecen las líneas de flujo correspondientes a las 14:00 horas; éstas son semejantes para ambas épocas del año y se caracterizan porque durante la hora de mayor actividad convectiva, el flujo horizontal del aire es usualmente de N a S, inducido por los vientos de valle que son algo más intensos. Por lo tanto, a estas horas los contaminantes que emite la ciudad son transportados hacia el sur y poniente, al mismo tiempo que se difunden verticalmente debido a la acción turbulenta tanto mecánica como convectiva del aire.

Al caer la tarde, una vez que cesan los movimientos convectivos, el balance de radiación se vuelve negativo y se establece nuevamente el flujo convergente, originado por los vientos que descienden de las montañas (catabáticos o vientos de valle) y por la "isla de calor".

La convergencia de flujo durante la noche y al amanecer tiende a mantener confinados lateralmente a los contaminantes, sobre todo en los flancos N, O, y S de la ciudad. Este confinamiento se acentúa por la formación de aire estable o de inversiones en este período.

Fig. 2.6 Frente frío de invierno

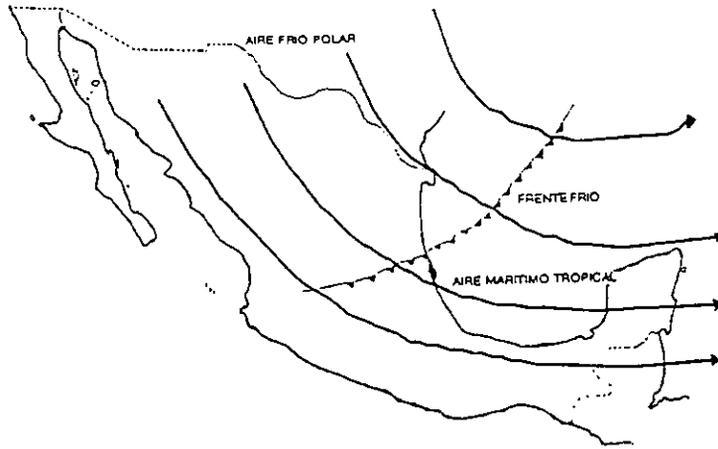


Fig. 2.7 Aire marítimo tropical

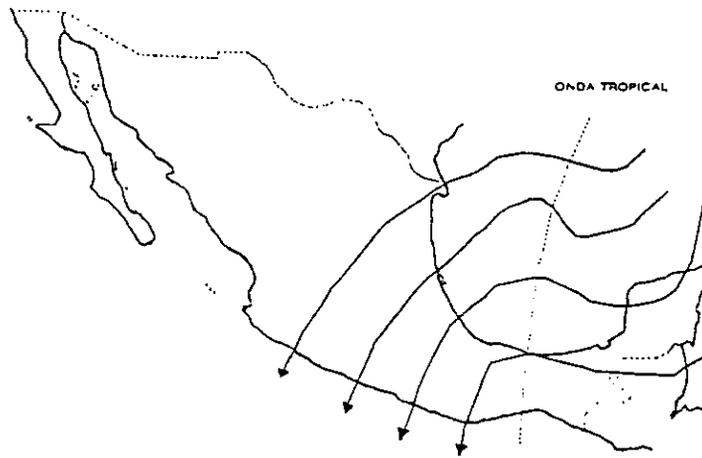


Fig. 2.8. Onda tropical

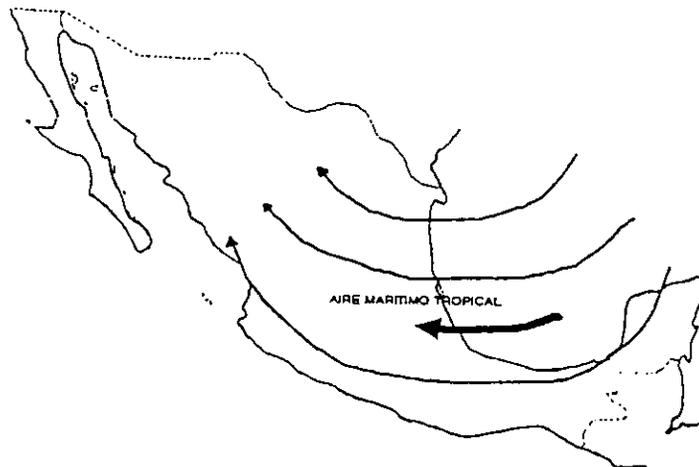


Fig. 2.9. Líneas de flujo del aire superficial a las 14:00 hrs.  
Trazadas con el viento más frecuente en el periodo octubre-abril.

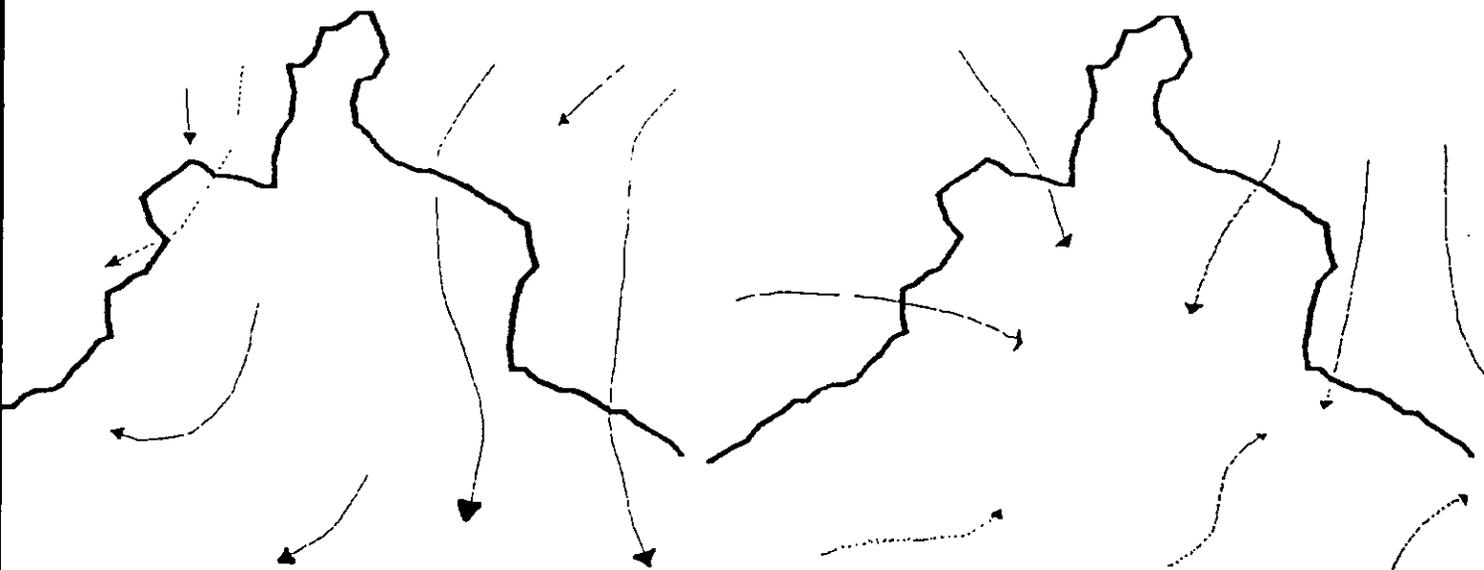


Fig. 2.10. Líneas de flujo del aire superficial a las 06:00 hrs.  
Trazadas con el viento más frecuente en el periodo octubre-abril.

Fig. 2.11. Líneas de flujo del aire superficial a las 06:00 hrs.  
Trazadas con el viento más frecuente en el periodo mayo-octubre.

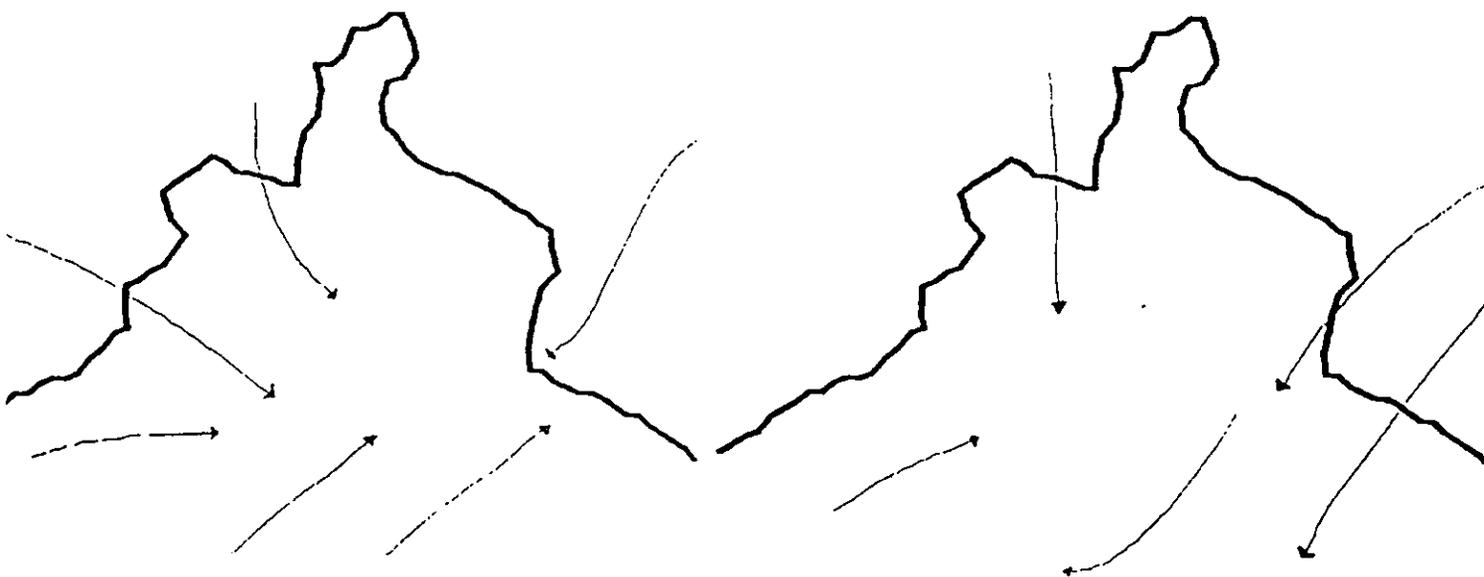


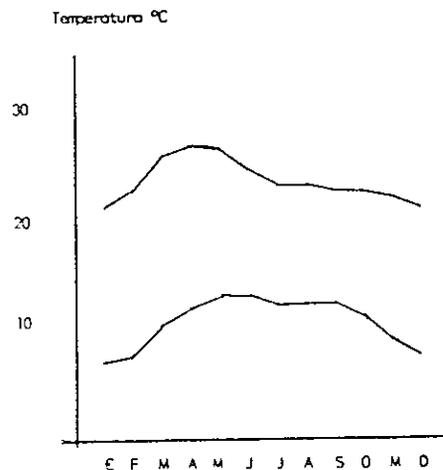
Fig. 2.12. Líneas de flujo del aire superficial a las 14:00 hrs.  
Trazadas con el viento más frecuente en el periodo mayo-octubre.

Como esta situación meteorológica desfavorable se prolonga usualmente hasta las 8:00 o 10:00 h, no es de sorprender que las máximas concentraciones de algunos contaminantes se observen al final de este período y que coincidan con el máximo de emisiones vehiculares en la mañana. La situación anterior corresponde a las condiciones de gradiente barométrico débil a escala regional. Sin embargo, en ciertas ocasiones, particularmente en la estación invernal, invaden al valle masas de aire polar que se manifiestan por el paso de una vaguada en la altura (arriba de los 700 mb, 4,500 m) que viene acompañada de vientos vigorosos del SO que cambian al N o NO. En estas condiciones, desaparece la circulación de vientos locales impuesta por la topografía y los vientos moderados (de 3 o 4 m/seg) transportan rápidamente las impurezas hacia fuera de la ciudad, con lo que se abaten drásticamente, por unas horas, los niveles de contaminación. Cuando los vientos en la altura sobre la ciudad a 550 mb (unos 5,800m) varían del NO al SO con el paso de la vaguada superior, en la superficie se mantienen del N o NE durante todo el día con una intensidad que varía entre 3 a 5 m/seg., la influencia benéfica de acarreo rápido de los contaminantes hacia fuera de la ciudad por estas situaciones de "norte" dura usualmente un día o hasta dos. Una vez que pasan por el valle los vientos del norte asociados a la vaguada en la altura, prevalecen condiciones de subsidencia del aire, lo que significa cielos despejados y un gradiente de presión muy débil que permite nuevamente la formación de la circulación local descrita al principio de esta sección.

### 2.2.1 Temperatura superficial.

La temperatura promedio diaria en la ZMCM, oscila entre 13 y 18°C. Los valores mínimos se presentan en la temporada invernal, con promedios de 13-14°C, y los máximos en el verano con promedios de 17-18°C. Las temperaturas Máximas promedio, a lo largo del año, varían entre 21 y 27°C, con una media de 10.2°C. (Fig.2.13.)

**Fig. 2.13. Temperatura promedio máxima y mínima mensuales**



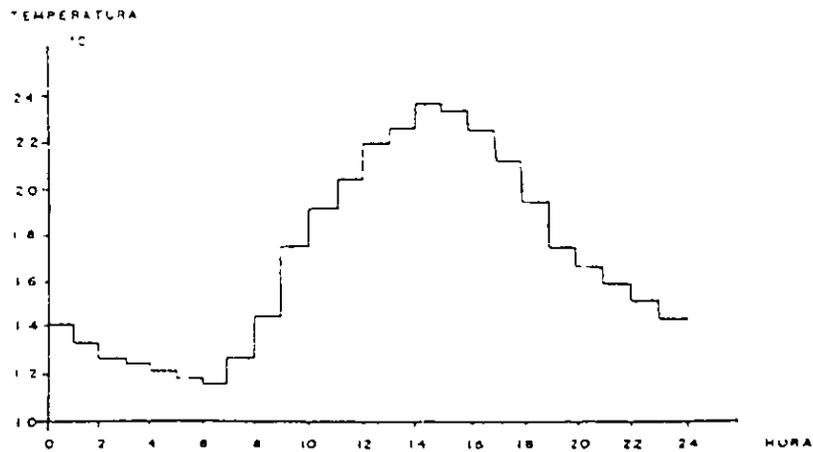
Históricamente (entre 1971 y 1984), las máximas temperaturas extremas han variado entre 26.4 y 32.8°C. Estos valores corresponden a mayo y junio respectivamente. A su vez, las mínimas extremas en este período oscilaron entre 9.5 y 7.6°C; estos valores se presentaron en diciembre y enero respectivamente. Por lo que toca a la variación horaria, las figuras 2.14. y 2.15., presentan la información correspondiente a un día representativo de la temporada de secas (marzo) y de lluvias (agosto).

### 2.2.2. Humedad Relativa, Precipitación y evaporación.

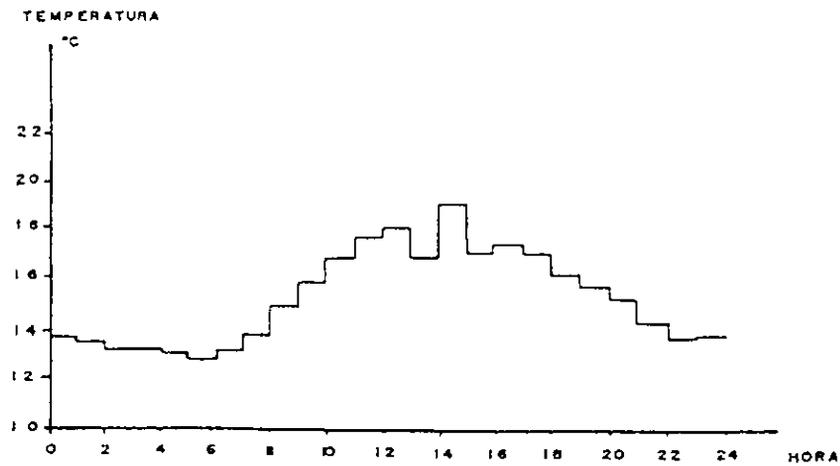
La humedad relativa promedio en la ZMCM oscila de 46% en marzo a 76% en agosto, con una media anual de 62.5%. La humedad relativa mínima oscila a su vez entre 13.9% en marzo a 35.7% en agosto, con una media de 23.4% (fig. 2.16.).

La humedad relativa promedio en la ZMCM oscila de 46% en marzo a 76% en agosto, con una media anual de 62.5%. La humedad relativa mínima oscila a su vez entre 13.9% en marzo a 35.7% en agosto, con una media de 23.4% (fig. 2.16.).

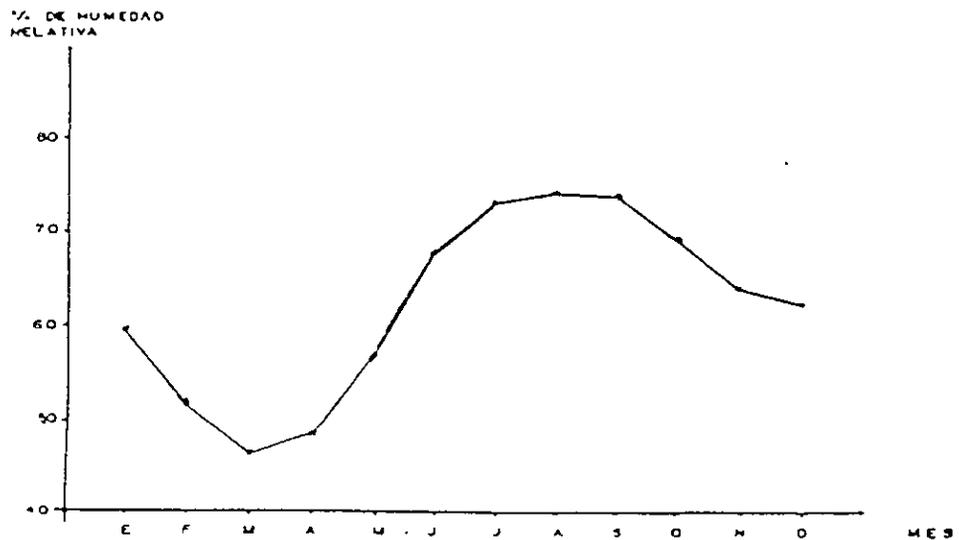
**Fig. 2.14 Variación horaria de la temperatura en época de secas (marzo).**



**Fig. 2.15 Variación horaria de la temperatura en época de lluvias (agosto).**



**Fig. 2.16. Curva de humedad relativa promedio durante un año.**



Por lo que toca a las lluvias, la figura 2.17., presenta la información correspondiente a la precipitación pluvial total por mes. Se pueden distinguir claramente dos temporadas: la de lluvias, de mayo a octubre; y la de secas, de noviembre a febrero, con los meses de marzo y abril de transición.

De acuerdo con la información histórica, el volumen máximo de lluvias en 24 horas y una hora, se ha presentado en septiembre, con valores de 73.4 y 57 mm respectivamente. Por otra parte, como factor del balance de humedad del área, la figura 2.18., presenta la variación de la evaporación total en el año.

Fig. 2.17 Precipitación pluvial total mensual

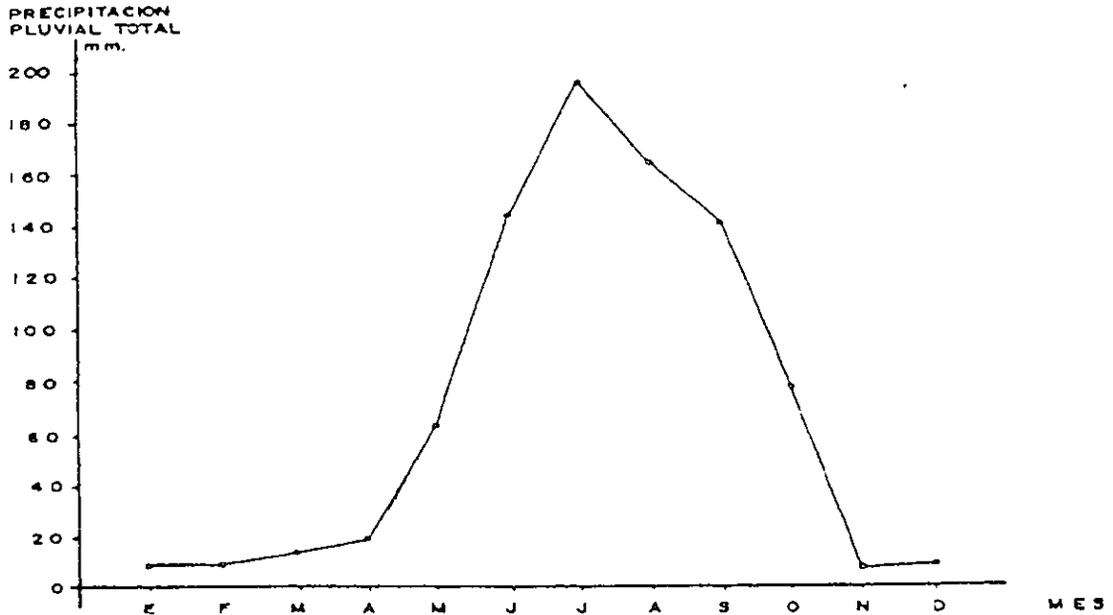
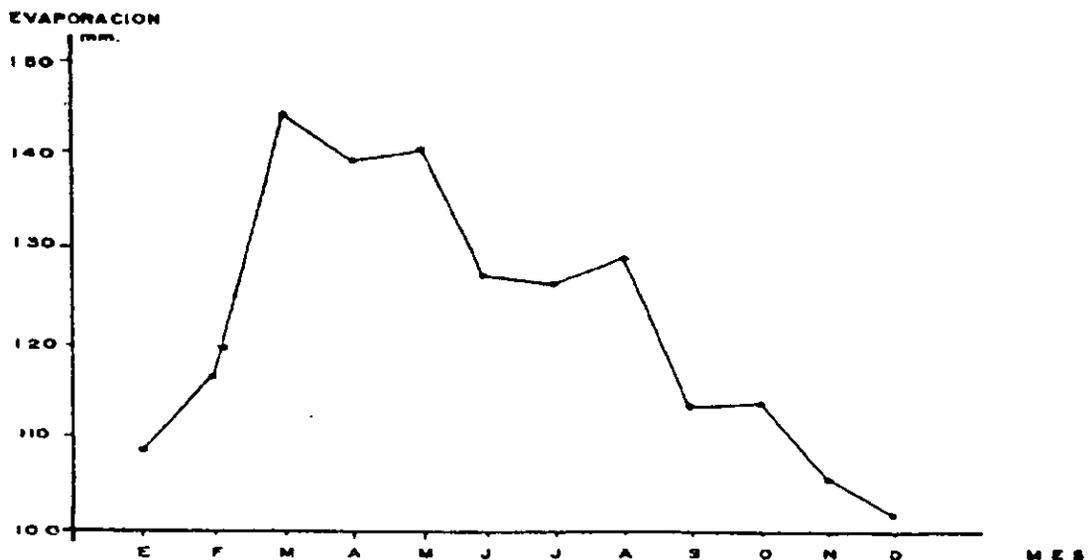


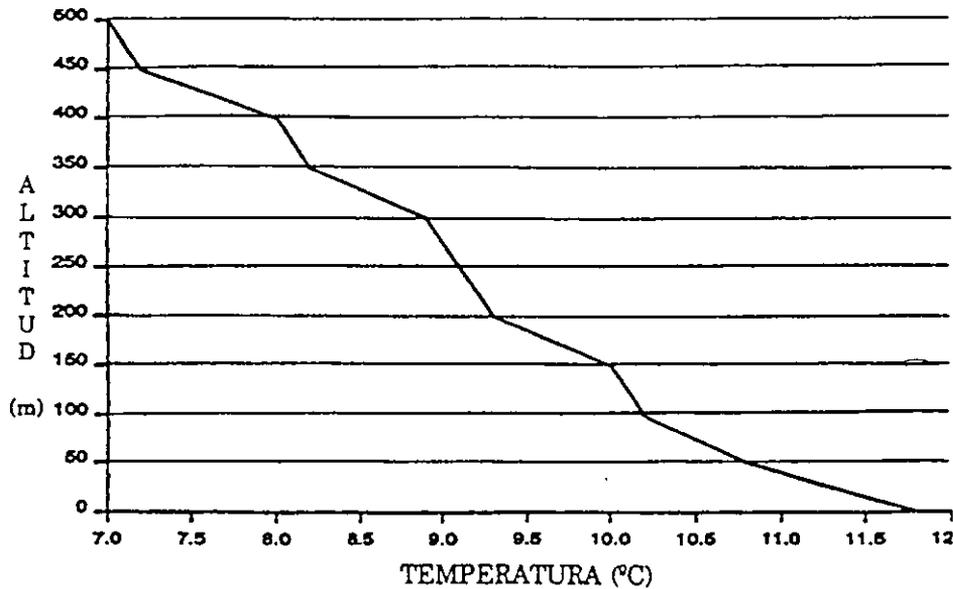
Fig. 2.18 Variación de la evaporación total en el año



### 2.2.3. Perfil vertical de temperatura.

La ubicación y la topografía de la Cuenca de México originan que el perfil vertical de temperatura presente en ocasiones gradientes positivos, lo cual manifiesta la presencia de inversiones térmicas. Esta situación, en general, se desarrolla por el enfriamiento nocturno del aire en las zonas altas de las serranías. Posteriormente, se desliza hacia el fondo del valle, por lo que queda atrapada una masa de aire frío bajo una capa de aire a mayor temperatura y, por ende, más ligera. Las figuras 2.19. y 2.20. presentan los perfiles de temperatura en el área, tanto cuando se presenta la inversión térmica, como cuando este fenómeno esta ausente, así como su frecuencia, altura de la capa de inversión superficial y la hora del día en que se presenta la ruptura de la capa de inversión, Fig. 2.21.

**Fig. 2.19 Perfil de temperatura sin inversión térmica**



**Fig. 2.20 Perfil vertical de temperatura con inversión térmica**

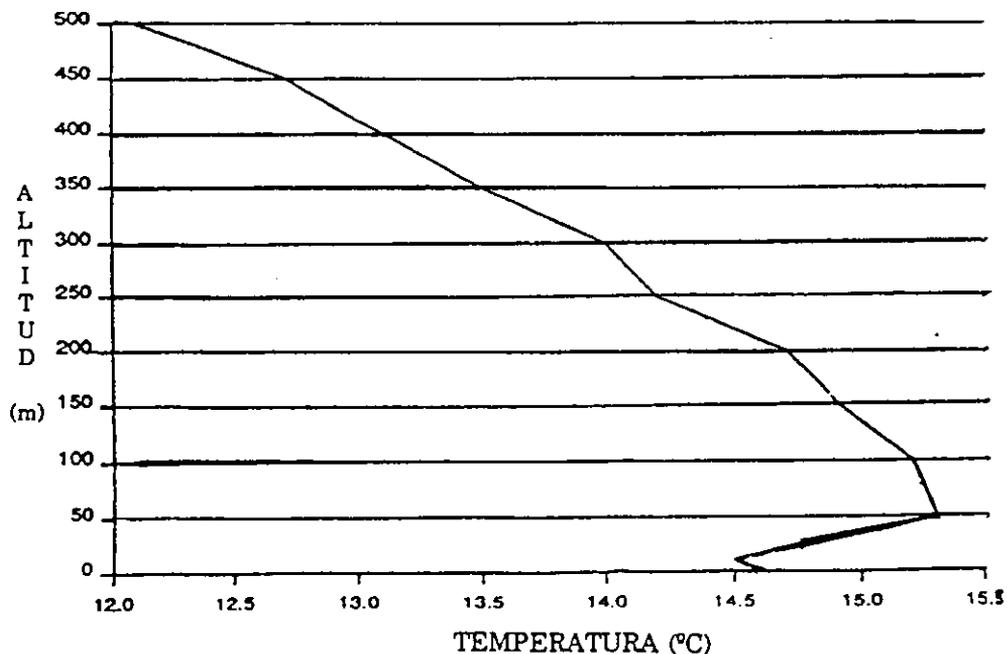
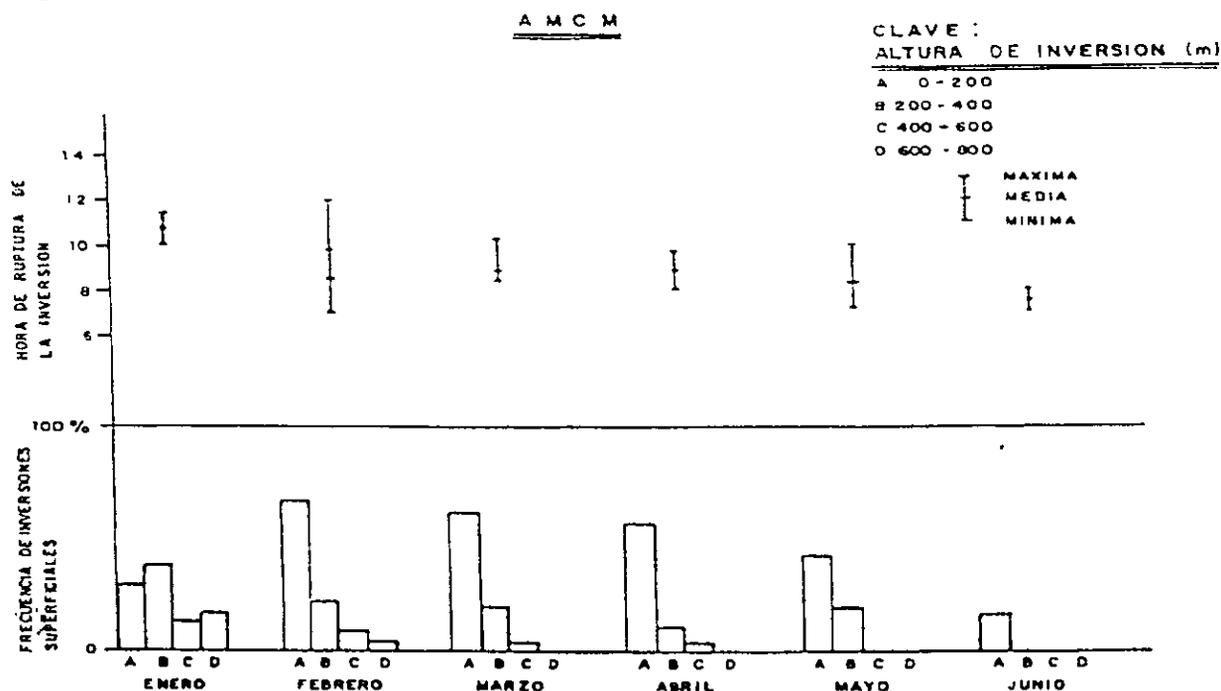


Fig. 2.21 Frecuencia e intensidad de la inversión térmica de tipo superficial



#### 2.2.4. Radiación solar y condiciones de estabilidad atmosférica.

Los contaminantes atmosféricos son muy eficaces para atenuar la radiación solar de onda corta. Una estimación aproximada de la atenuación que sufren los rayos del sol, por la presencia de contaminantes atmosféricos, se puede establecer comparando la radiación global (medida con un piranómetro) dentro y fuera del área urbana (Jáuregui, 1988), este ensayo señala un comportamiento diurno (promedio 5 horas) en la reducción de energía solar a nivel de superficie durante las horas de la mañana, cuando la capa de contaminantes es más densa. La atenuación de la radiación entre la 10:30 y el mediodía (solar) es del orden de 10 y 20%. (DDF 1992). En la figura 2.22., se muestra el registro de radiación ultravioleta en un día típico, en comparación de la concentración de contaminantes precursores de ozono y fotoquímicos, registrados en Ciudad Universitaria en 1987.

En resumen, las condiciones meteorológicas de la ZMCM se pueden describir como sigue:

La ZMCM posee una serie de características fisiográficas y climáticas únicas que pueden contribuir en la severidad de los problemas de contaminación de la Ciudad.

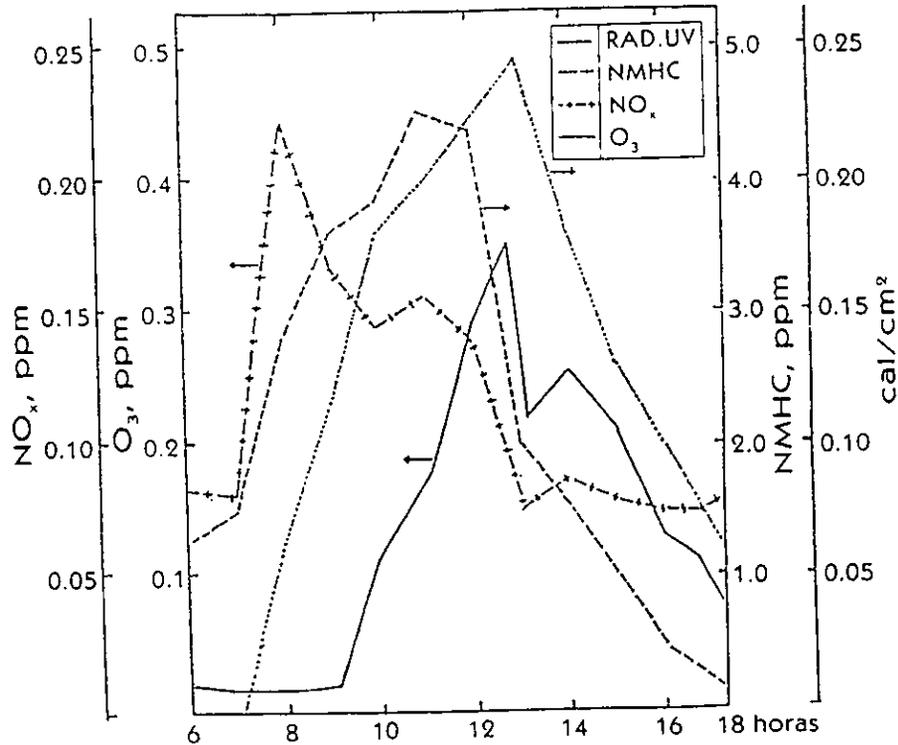
La ZMCM se encuentra a una altura de 2240 metros, por lo que el contenido de oxígeno del aire es 23% menor que al nivel del mar. Esto hace que los procesos de combustión interna sean menos eficientes.

Está rodeada por las montañas de las sierras del Ajusco, Chichinautzin, Nevada, Las Cruces, Guadalupe y Santa Catarina, las que constituyen una barrera física natural para la circulación del viento, impidiendo el desalojo del aire contaminado.

Se localiza dentro de la región central del país, por lo cual está sujeto también a la influencia de sistemas anticiclónicos, generados tanto en el Golfo de México como en el Océano Pacífico. Estos sistemas ocasionan una gran estabilidad atmosférica, inhibiendo el mezclado vertical del aire.

Presenta con frecuencia inversiones térmicas que provocan el estancamiento de los contaminantes. Por las mañanas, la capa de aire que se encuentra en contacto con la superficie del suelo adquiere una temperatura menor durante la noche que las capas superiores, por lo que se vuelve más densa y pesada. Las capas de aire que se encuentran a mayor altura y que están relativamente más calientes actúan entonces como una cubierta que impide el movimiento ascendente del aire contaminado.

**Fig. 2.22 Concentración horaria de O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, NMHC y radiación ultravioleta registrados en la estación de monitoreo del CCA- UNAM (31/01/87)**



### 2.3. Oxidantes fotoquímicos y sus efectos.

Los oxidantes fotoquímicos resultan de una serie compleja de reacciones atmosféricas iniciadas por la luz solar. Cuando hidrocarburos reactivos y óxidos de nitrógeno se emiten en la atmósfera y son expuestos a radiación ultravioleta, producen la formación de estos nuevos compuestos (oxidantes fotoquímicos) incluyendo ozono y peroxiacilnitratos (PAN). El ozono ha sido identificado como el componente más abundante en los niveles de oxidantes observados. Las concentraciones de oxidantes observados son dependientes de la duración e intensidad de la radiación solar y de la temperatura. Una característica que complica el estudio de los oxidantes es el hecho que sus concentraciones en la atmósfera son dependientes de reacciones químicas, y por lo tanto, se presentan más tarde que sus precursores (NO<sub>x</sub> e hidrocarburos). Como resultado, la relación entre precursores y oxidantes atmosféricos es menos directa y más difícil de cuantificar que en el caso del estudio de los contaminantes primarios.

#### 2.3.1. Ozono.

El ozono (O<sub>3</sub>), es un contaminante secundario producto de la relación de óxidos de nitrógeno, hidrocarburos reactivos y la luz ultravioleta. Es un gas que se encuentra normalmente en la estratosfera y troposfera. En la estratosfera tiene como acción, la de disminuir en parte la radiación ultravioleta emitida por el sol. Este gas se encuentra en forma natural en la atmósfera. En zonas rurales se puede detectar como consecuencia de reacciones fotoquímicas a partir de trazas

naturales de hidrocarburos reactivos, óxidos de nitrógeno, metano y monóxido de carbono, o bien por la intrusión de ozono estratosférico a las capas bajas de la troposfera por medio del efecto de las corrientes de chorro (jet stream), y complicados mecanismos meteorológicos (Bravo A. H., 1995). Sus concentraciones naturales en la troposfera se consideran de aproximadamente 0.05 ppm. El ozono formado en la capa inferior de la troposfera, hasta los 17 kilómetros de altura y 7-8 kilómetros en los polos, no debe confundirse con el que se forma en la estratosfera. La concentración del ozono ( $O_3$ ) estratosférico protege a la biosfera del efecto directo de la radiación ultravioleta de origen solar. El ozono es altamente oxidante y forma parte de una mezcla compleja de contaminantes fotoquímicos asociados a radicales libres como el peroxiacetil nitrato (PAN), acroleína, los peroxiacetilnitratos y los aldehídos (Ferris, 1978). El  $O_3$ , alguna vez considerado como un contaminante atmosférico solamente localizado en la parte sur del Estado de California, EUA, ahora se presenta en varias áreas urbanas del planeta. La US-EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América) ha estimado que 107 comunidades y 135 millones de personas residen en áreas en las que se excede el Estándar Norteamericano de Calidad del Aire para  $O_3$  (OTA, 1989), el cual establece el no exceder la concentración de 0.12 ppm más de una hora al día en un año y en un periodo de tres años.

En la Ciudad de México el problema por el incremento de  $O_3$  fue detectado desde fines de los años 80. Hasta la fecha esta situación de generación de ozono no ha podido ser controlada, estudios recientes en México y en otros países hacen evidente que la formación de ozono, no es tan simple como se había pensado, ya que este gas se forma cuando hay radiación solar que activa los mecanismos fotoquímicos de formación para que los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos reactivos interactúen. Al haber mayor concentración de precursores, parece que hay acumulación nocturna de los mismos por arriba de la capa de inversión de temperatura típica de la Ciudad de México, lo que da como resultado la presencia de  $O_3$  muy temprano en el día (Bravo, 1992). La presencia de concentraciones de ozono elevadas en la ciudad se localizan preferentemente en la zona suroeste; en esta zona el promedio horario de ozono con mucha frecuencia rebasa la Norma Mexicana de Calidad del Aire para  $O_3$  (0.11ppm, en una hora). Actualmente la situación que sólo se apreciaba en el suroeste se hace presente por toda la ciudad de México.

### 2.3.2. Efectos del ozono.

El efecto tóxico del  $O_3$  ha sido ampliamente estudiado en sistemas in vitro y en modelos aplicados a animales. La exposición aguda a este contaminante ocasiona inflamación pulmonar con aumento en la permeabilidad de las vías aéreas y alteración de la mecánica pulmonar (Lippmann, 1992). La exposición crónica en ratas ha demostrado la presencia de: lesión de las vías aéreas más pequeñas -los bronquiolos terminales- cambios en la población de las células alveolares -aquellas que se encuentran en el sitio en el que se lleva a cabo el intercambio gaseoso- (Gross y White, 1987). Estudios en primates, también han mostrado la modificación en las vías respiratorias y alteración en la mecánica pulmonar después de exposición crónica (Tyler, 1988). Estas observaciones en modelos animales dan bases para preocuparse de los efectos a largo plazo en humanos, tal y como se ha descrito en varios estudios epidemiológicos realizados en niños de la Cd. De México. (Calderón, 1993).

Los efectos a corto plazo por exposición a ozono se han evaluado en estudios clínicos en los voluntarios sanos que se han expuesto, tanto con ejercicio intermitente como con ejercicio sostenido; el ejercicio aumenta la dosis de ozono que llega al aparato respiratorio. La disminución en la función pulmonar, así como la capacidad física y el agravamiento de la sintomatología respiratoria ha sido demostrada con niveles aún más bajos a 0.12ppm (Lippman, 1992). Con los niveles antes mencionados, en adultos jóvenes sanos, el ejercicio intenso y sostenido se requiere para provocar la disminución en los volúmenes y en las capacidades pulmonares (McDonnell, 1985; Avol, 1989). Los pocos estudios realizados en niños muestran resultados semejantes. Cambios agudos reversibles en los volúmenes y capacidades pulmonares se han observado en niños que hicieron ejercicio y se expusieron a concentraciones tan bajas como 0.12ppm (McDonnell, 1985; Avol, 1989). Los resultados de los estudios clínicos en otros subgrupos que se

consideran especialmente susceptibles a los efectos del ozono-asmáticos y enfermos obstructivos crónicos, enfermos del corazón- no parece ser muy diferentes de aquellos referidos en los sujetos sanos (Koenig, 1987).

Varios estudios epidemiológicos han dado evidencia de la relación que existe entre los niveles de los oxidantes en el ambiente y los síntomas respiratorios en niños (Raizenne, 1989) y en adultos jóvenes (Swartz y Zeger, 1990) que son consistentes con los síntomas inducidos en los estudios de exposición controlada a ozono. El agravamiento de los asmáticos, también se ha asociado a los niveles elevados de oxidantes en el ambiente (Koenig JQ y cols, 1987). Estudios epidemiológicos a corto plazo de la variación en los niveles de función respiratoria en relación a los niveles de  $O_3$  han dado evidencia que confirma los datos de los estudios clínicos que como se mencionó anteriormente, muestran que este contaminante puede ocasionar una reducción temporal de la ventilación, esto es, de la capacidad de introducir aire a nuestros pulmones. Los efectos respiratorios agudos con variaciones en periodos cortos de la concentración de ozono se ha evaluado en los "campamentos de verano" en los que los niños pasan mucho tiempo al aire libre, y con frecuencia haciendo mucho ejercicio (Lippmann, 1992; Fourtoul et al, 1996). En estos estudios, la función pulmonar se ha monitoreado diariamente y con la medición de los niveles de ozono en el campamento o en sitios cercanos al mismo. La relación dosis-respuesta estimada de estos estudios fue semejante a lo referido en los estudios clínicos ya mencionados.

Los efectos crónicos por exposición a ozono se han obtenido principalmente de estudios transversales, esto es, estudios en los que se evalúa a una población una sola vez; pero como no existe información relacionada con la exposición real de este grupo al contaminante que se quiere estudiar, los resultados no son del todo aceptables. Seguir una población por varios años es difícil y costoso, lo que sumado a otras características de las poblaciones no ha permitido hacer ese tipo de estudios, que realmente contestarían las preguntas actuales relacionadas con los efectos a largo plazo por exposición a ozono.

Al igual que en otros países los estudios que se han realizado en México son en el corto plazo. Namihira (1986) estudió la función respiratoria de niños y niñas entre 6 y 14 años de edad que vivían en San Lorenzo Tezonco, al sureste de la ciudad de México y Xalostoc, zona industrializada en el noreste y observó una ligera disminución en los valores normales para estas pruebas en los niños de Xalostoc. La interpretación de este estudio se limita por la falta de mediciones de exposición ambiental en la población estudiada. Castillejos refiere cambios en las pruebas de función respiratoria de niños que viven en el suroeste de la Ciudad de México, pero no tan marcados como se hubiera esperado, por la exposición a este contaminante en la zona de estudio (Castillejos et al, 1992, Calderon G. et al. 1993). Por otro lado Fortoul, en un estudio en niños en un campo de verano en el suroeste de la Ciudad reporta que cuando los niños jugaban en los días con niveles elevados de ozono, su función respiratoria disminuía, mientras que los días con ozono, por abajo de la Norma Mexicana de Calidad del Aire, la función respiratoria no se modificaba (Fortoul et al, 1995 y 1996).

Las poblaciones de zonas en donde regularmente se detectan concentraciones elevadas de ozono troposférico, muestran síntomas por contaminantes fotoquímicos. Los cuales son referidos con más frecuencia son: irritación ocular, irritación en la garganta y nariz y resequead de la garganta, tos, dificultad y dolor durante respiración profunda, opresión en el pecho, malestar general, debilidad, náusea y dolor de cabeza. Otros estudios muestran que muchas sustancias irritantes para los ojos son producto de reacciones fotoquímicas. Los precursores de sustancias irritantes son compuestos orgánicos en combinación con los óxidos de nitrógeno. Aunque las concentraciones de oxidantes fotoquímicos pueden correlacionarse con la severidad de la irritación en los ojos, una relación efecto- causa directa con el ozono no se ha establecido; sin embargo, en el rendimiento de atletas estudiantiles existe un efecto negativo cuando las concentraciones de ozono se encuentran en el rango de 0.03 a 0.3 ppm. Asimismo, se observa un incremento en frecuencia de ciertos tipos de ataques de asma en una pequeña porción de personas con esta enfermedad, en días cuando la concentración de oxidantes excede concentraciones máximas de 0.13 ppm (Fourtoul, 1994). Efectos adversos en la vegetación

sensible se observan después de exposiciones a concentración de 0.05 ppm o mayores durante cuatro horas.

Se ha encontrado que la función respiratoria de los niños que realizan actividades físicas al aire libre disminuye de manera reversible para concentraciones en aire ambiente entre 0.12 y 0.2 ppm de ozono. Esto significa que después de que cesa la exposición al ozono, la función respiratoria regresa a su valor inicial normal. También se ha tratado de determinar si un aumento en la concentración atmosférica de ozono afecta el estado clínico-patológico de quienes padecen enfermedades respiratorias crónicas, habiéndose encontrado que las crisis asmáticas se exacerban cuando la concentración de ozono se eleva, en tanto este aumento no afecta a los enfermos con bronquitis crónica. Actualmente se cuenta con datos que muestran una mayor sensibilidad de los niños, las mujeres y los no fumadores a los efectos nocivos del ozono (Fourtoul et al, 1995 y 1996 ).

En resumen se puede concluir que la exposición a niveles registrados en la ZMCM, aun los individuos sanos experimentan efectos como irritación severa de las mucosas, resequedad y cefaleas. En individuos asmáticos y con otros padecimientos respiratorios se puede presentar una disminución significativa de la capacidad pulmonar y otros padecimientos asociados (DDF, 1996).

### 2.3.3. Oxidos de nitrógeno.

De los óxidos de nitrógeno presentes en la atmósfera, los más importantes son el, óxido de nitrógeno (NO) y el bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub> ) . El término NO<sub>x</sub> se utiliza cuando se desea representar la suma de concentraciones de NO y NO<sub>2</sub> , es decir:



La utilización de combustibles fósiles por sus condiciones de temperaturas altas genera NO y pequeñas cantidades de NO<sub>2</sub>. Estos son emitidos a la atmósfera por diferentes fuentes tales como: chimeneas, incineradores y ciertos procesos químicos, entre otros.

De las emisiones de NO<sub>x</sub> generadas, gran parte es como NO, el cual es posteriormente oxidado en la atmósfera para formar NO<sub>2</sub>. El NO<sub>2</sub> es el más importante con relación a sus efectos en la salud. Por lo general, a concentraciones de NO bajas, de 1.2 ug/m<sup>3</sup> o menos, la reacción de oxidación directa con oxígeno del aire procede a baja velocidad. Sin embargo, la oxidación de NO a NO<sub>2</sub> se lleva a cabo rápidamente cuando se presenta un proceso fotoquímico, en el cual participan hidrocarburos reactivos presentes en atmósferas contaminadas. El óxido de nitrógeno es un gas incoloro, inodoro, muy soluble en agua. Es el producto primario formado en los procesos de combustión a altas temperaturas cuando el oxígeno y en nitrógeno se combinan.

El bióxido de nitrógeno es un gas de color rojo-naranja-café, de olor repugnante característico. Con un punto de ebullición de 21.1°C. El bióxido de nitrógeno es corrosivo e irritante y tóxico. Durante las horas del día con luz solar, el NO de la atmósfera puede ser convertido cuantitativamente a NO<sub>2</sub>.

Otra propiedad importante de los óxidos de nitrógeno es la reducción de la visibilidad en atmósferas contaminadas, debido a que el NO<sub>2</sub> absorbe energía luminosa del espectro visible, y causa que en el horizonte objetos blancos se aprecien de color amarillo pálido o café-rojizo.

Con la presencia de partículas y aerosoles, la reducción de visibilidad es mayor y este efecto se asocia con el "smog" fotoquímico. A escala global, los óxidos de nitrógeno son generados antropogénicamente. La generación natural de NO<sub>x</sub> es producida por acción bacteriana. Sin embargo, los procesos de eliminación naturales mantienen un nivel basal del orden de 8 ug/m<sup>3</sup> (4.1 ppb) para NO<sub>2</sub> y 3.3 ug/m<sup>3</sup> (2.7 ppb) para NO.

Un caso diferente se presenta con las concentraciones en ambientes urbanos, donde se localiza una gran parte de las fuentes antropogénicas de NO<sub>x</sub>; en estos ambientes urbanos los niveles son mayores, porque los contaminantes son introducidos a la atmósfera más rápidamente de lo que son eliminados. El uso de combustibles fósiles es la fuente principal de NO<sub>x</sub> en la atmósfera. La industria química emite también fuertes cantidades, en fuentes puntuales localizadas.

#### **2.3.4. Efectos en la salud del bióxido de nitrógeno.**

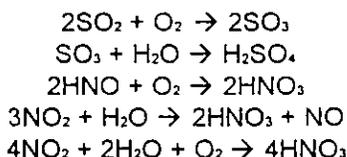
Estudios epidemiológicos y de animales de laboratorio permiten afirmar que las exposiciones repetidas y elevadas en un período corto contribuyen más a la toxicidad (WHO, 1987). Algunos casos de los efectos de este contaminante para la salud humana se han encontrado en estudios realizados en cámaras de exposición a concentraciones muy superiores de las que se pueden presentar en zonas urbano-industriales. Asimismo, los efectos de aumento en la incidencia de infecciones de vías respiratorias y de una ligera disminución de la función pulmonar se han presentado en poblaciones expuestas a niveles por debajo del estándar, pero que también han estado expuestas a concentraciones elevadas de partículas suspendidas y bióxido de azufre. Por lo anterior, las conclusiones de los estudios mencionados se consideran cuestionables. No se han hecho suficientes estudios bajo condiciones controladas de la interacción del NO<sub>2</sub> y otros contaminantes atmosféricos encontrados con frecuencia en el ambiente. Sin embargo, si hay evidencias del efecto aditivo y sinérgico entre NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, así como del efecto causado únicamente por este último; lo anterior depende de la concentración y duración de la exposición (WHO, 1987). El dióxido de nitrógeno puede irritar los pulmones y reducir la resistencia respiratoria a las infecciones. Los efectos de exposición al corto plazo no están claros, pero la exposición continua o frecuente a concentraciones mayores a las encontradas normalmente en el aire puede causar un incremento en la incidencia de enfermedades respiratorias en niños. Los datos de los niveles de NO<sub>2</sub> en la ZMCM y las investigaciones realizadas para evaluar los efectos, sugieren que se puede presentar un aumento en la afectación de las vías respiratorias, como bronquitis, y una disminución de la función pulmonar (Santos Burgoa y Rojas Bracho, 1992).

#### **2.3.5. Lluvia ácida.**

La lluvia ácida es un problema ambiental con muchas implicaciones, que a diferencia de la gran mayoría de los problemas de contaminación atmosférica no incide directamente en la salud pública, pero sí en ecosistemas acuáticos sensibles, comunidades vegetales, suelos, cuerpos de agua superficiales y subterráneos, así como estructuras con valor arqueológico, histórico y cultural y puede tener efectos adversos en la agricultura, así como en cuerpos de agua con geología granítica. Asimismo se debe señalar que algunos de los precursores de la lluvia ácida son contaminantes atmosféricos que tienen efectos comprobados en la salud.

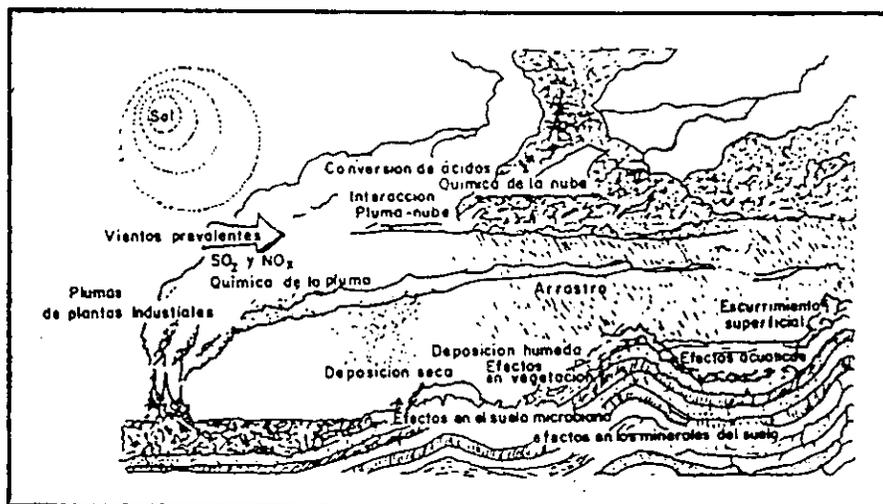
La acidez en la lluvia, registrada en mediciones realizadas en los Estados Unidos de América y en países de Europa, señalan que ha cambiado de una solución casi neutra hace 200 años, a una solución diluida ácida, principalmente con ácido sulfúrico y nítrico (Bravo, 1987). A partir de la observación de S. Oden en 1968, sobre el aumento de acidez de la precipitación en Europa, un gran interés se ha despertado para estudiar la "lluvia ácida" y sus efectos tanto en Europa como en los Estados Unidos de América. En México no fue hasta 1980 cuando se iniciaron los estudios sobre precipitación ácida en la Cuenca del Valle de México, Lazrus (NCAR) y Bravo (1981, 1988, 1989, 1991 y 1993).

Una muestra colectada de lluvia es considerada como lluvia ácida si presenta un valor de pH menor a 5.6, tomando en cuenta que este valor corresponde a la lluvia que está en equilibrio químico con el CO<sub>2</sub> de la atmósfera, lo que provoca que se cree un ácido débil, carbónico (EPA, 1979). 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<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y NO<sub>2</sub> respectivamente junto con la humedad de la atmósfera (H<sub>2</sub>O). Lo anterior se explica en forma general por las siguientes reacciones (Krupa, 1977):



Esta descripción se puede aplicar también al fenómeno de deposición ácida (Niemann, 1979), que incluye deposición seca y deposición húmeda (lluvia), en la cual interaccionan deferentes compuestos como nitratos y sulfatos (fig. 2.23.).

**Fig. 2.23 Proceso de formación de la lluvia ácida. (The acid Precipitation Problem, Llorvalis, EPA-Environmental Research Laboratory, 1979).**



En la época actual se reconoce el caso extremo ocurrido en Escocia en 1974, en el que se registró un pH de 2.4 en la lluvia. La lluvia ácida es actualmente una preocupación en el ámbito local y regional e internacional en algunas partes de la Tierra. Hay regiones geográficas que presentan suelos alcalinos que tienen generalmente una capacidad de amortiguamiento que reduce el efecto ácido de la lluvia, como en zonas en donde los suelos son de composición caliza son muy sensibles y reaccionan con los nutrientes alcalinos deficientes. Es importante señalar que las reacciones de neutralización dependen de la abundancia de ácidos en relación con la materia alcalina disponible. Las sustancias ácidas en la atmósfera se originan de emisiones de origen natural y antropogénicas, y son principalmente derivados de óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno. La principal fuente de bióxido azufre en México es el uso de los combustibles fósiles y la industria extractiva; la principal fuente de emisión de los óxidos de nitrógeno, es la combustión de gasolinas en motores de combustión interna y el uso de combustibles fósiles en la industria.

El fenómeno de la precipitación ácida y sus efectos en ecosistemas terrestres, es en sí un complejo problema ambiental que a diferencia de los estudios de contaminación atmosférica, se complica al momento de evaluar los efectos que sobre los ecosistemas naturales pueda generar. La pérdida de las reservas forestales, producto de la deforestación, incendios, crecimiento de los centros de población y la consecuente expansión económica, aunado a la emisión de millones de toneladas de contaminantes a la atmósfera, están generando un deterioro ambiental que tiene implicaciones de índole climática a largo plazo sobre la Cuenca de México (Páramo, 1987). Entre los efectos detectados por este fenómeno en la vegetación destacan: lesiones necróticas en el follaje, pérdida de nutrientes en órganos foliares, reducción a la resistencia de patógenos, erosión acelerada del lavado del tejido foliar, reducción en la tasa de descomposición de renuevos foliares, inhibición de la formación de yemas terminales, incremento en la mortandad de las semillas, reducción del crecimiento arbóreo, eliminación de microorganismos útiles del suelo, tales como los involucrados en los procesos de fijación de nitrógeno, mineralización de renuevos forestales, y nitrificación de los compuestos de amonio que pueden ser inhibidos, así como

también la capacidad amortiguadora del suelo, lixiviación de nutrientes, remoción del Calcio, solubilización del Aluminio y Manganeseo, contaminación de aguas subterráneas y el incremento en la acumulación de metales entre otros. Se cree que el incremento y la frecuencia a la deposición ácida, está provocando cambios ambientales a largo plazo en la ZMCM, al estarse modificando los parámetros físicos y químicos de los microambientes aún presentes en la Ciudad, los cuales son un factor limitante en la productividad de las comunidades vegetales y la composición de especies (Bravo, et. al., 1993).

## **2.4. Mecanismos de formación de contaminantes fotoquímicos.**

### **2.4.1 Ciclo fotoquímico del ozono.**

Los oxidantes fotoquímicos como el ozono ( $O_3$ ) y sus precursores óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) e hidrocarburos reactivos no incluido el metano (NMHC), entre otros, así como la radiación solar ultravioleta, representan los precursores y fuente energética para el mecanismo generación de compuestos oxidantes como el ozono, peroxiacetil nitrato (PAN) y otros (Bravo, 1981). La presencia del ozono como contaminante atmosférico en la ZMCM fue detectada desde 1958 (Bravo et al), y el ciclo fotoquímico fue demostrado para la Ciudad de México por el mismo investigador en 1978.

El ozono es un contaminante secundario, formado en la atmósfera a través de una compleja serie de reacciones químicas de los contaminantes primarios, que fungen como precursores, siendo los  $NO_x$  y NMHC como los más importantes, en la actualidad se conocen más de sesenta reacciones que intervienen en la formación de  $O_3$  principalmente a partir de óxidos de nitrógeno como la más importante, compuestos orgánicos volátiles y radicales libres. Las fuentes de emisión de precursores antropogénicos son, en primer lugar, los automóviles  $NO_x$  y NMHC, industria ligera y pesada, estaciones de servicio de gasolina, así como todas las actividades en las que se emplean solventes orgánicos tales como pinturas y artículos de limpieza. Aunado a esto, la intensidad de la radiación ultravioleta. Esta interacción genera lo que se conoce como reacción fotolítica; la molécula de  $NO_2$  se rompe en dos  $NO$  y  $O$ , con lo cual se inicia el mecanismo de formación natural del ozono. El átomo libre de oxígeno se une al oxígeno molecular ( $O_2$ ) formando una molécula de ozono ( $O_3$ ). El ozono reacciona a su vez con el óxido nítrico y se disocia para formar de nuevo oxígeno molecular y bióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), cerrándose así el ciclo. Los compuestos orgánicos volátiles pueden alterar este ciclo, ya que reaccionan más rápidamente con el óxido nítrico que con el ozono e impiden que éste se disocie, aumentando su concentración en la atmósfera. De acuerdo con el ciclo fotolítico el  $O_2$  y el  $NO$  deberían destruirse en las mismas cantidades, Pero no sucede de este modo debido a que intervienen ciertos hidrocarburos que provocan una reacción más extensa. Las moléculas de  $O_2$  y  $O_3$  tienen una gran capacidad para reaccionar por medio de la oxidación de los hidrocarburos reactivos; la oxidación de la molécula de  $O_2$  es muchas veces más rápida que la de  $O_3$ . Así, los hidrocarburos (NMHC), se combinan más fácilmente con las moléculas disponibles de oxígeno atómico ( $O$ ) de la descomposición de  $NO_2$  y se forman radicales libres, que oxidan el  $NO$  a  $NO_2$  reiniciando con ello el ciclo. La ruta que se muestra en la Figura 2.24., es la conversión de  $NO$  a  $NO_2$  sin consumir  $O_3$ , explica la formación del ozono.

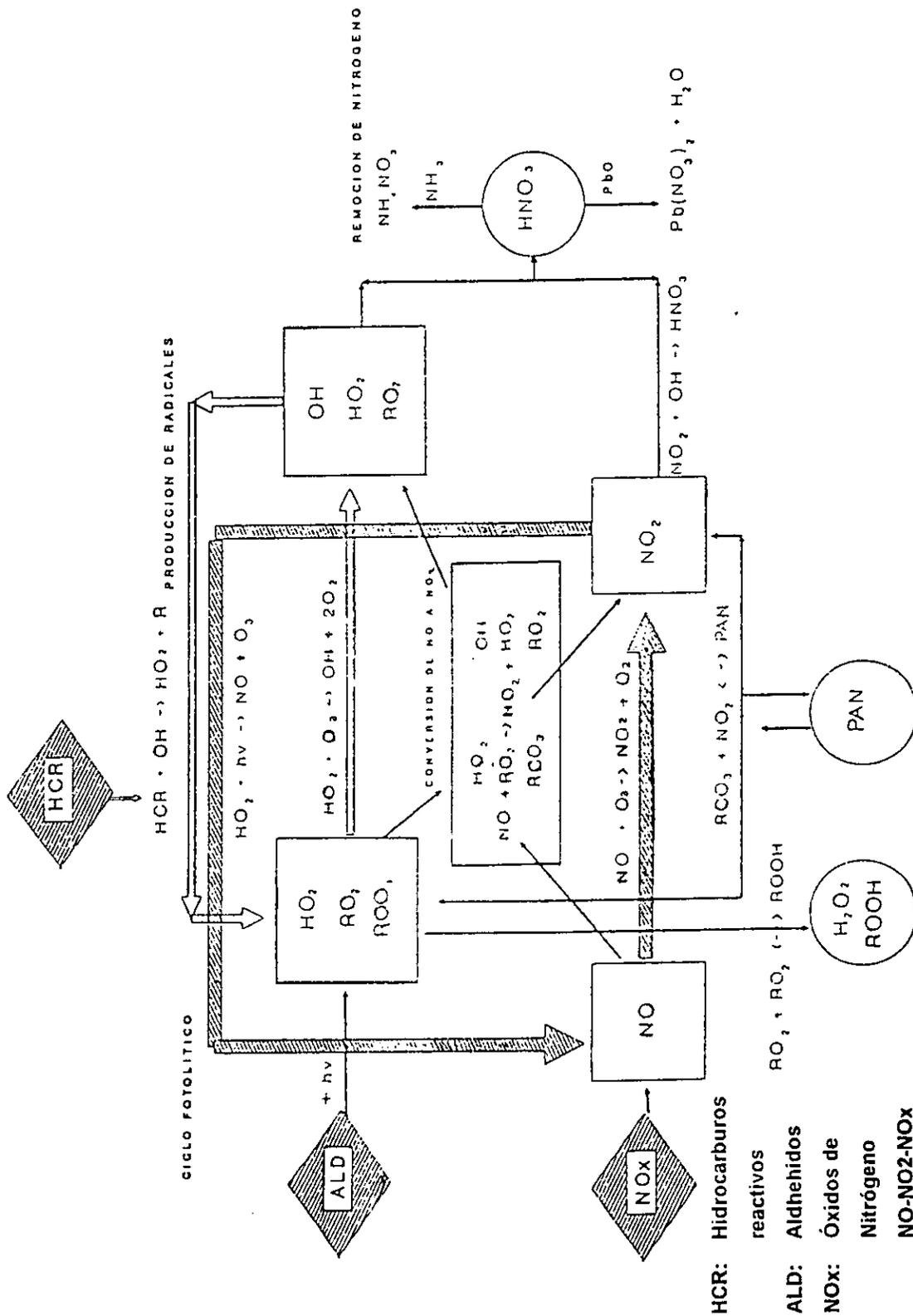
## **2.5. Criterios y metodologías para determinar la calidad del aire ambiente.**

### **2.5.1. Criterios de calidad el aire.**

Para poder identificar los contaminantes atmosféricos así como su concentración en la atmósfera es necesario contar con un equipo analítico cualitativo y cuantitativo que sea específico, confiable y que cumpla con los requerimientos establecidos para el monitoreo atmosférico. El monitoreo del aire consta de dos procesos: el de muestreo y el de análisis de contaminantes atmosféricos. El muestreo es el proceso por el cual los contaminantes son colectados, mientras que el análisis involucra métodos para determinar las concentraciones de los mismos en una muestra de aire. Los contaminantes atmosféricos considerados como criterio de calidad del aire son: bióxido de azufre, monóxido de carbono, partículas suspendidas totales, partículas menores a 10 micras (PM10), y

2.5 micras (PM2.5) oxidantes fotoquímicos, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos no metano y plomo, debido a los efectos en la salud. Para estos existen dos tipos de norma de calidad del aire; las primarias, cuya finalidad es la de proteger la salud humana; y las secundarias expresadas para mitigar el impacto en los ambientes naturales, en su contexto de flora y fauna, recursos naturales,

**Fig. 2.24 Ciclos Fotoquímicos y de remoción de ozono, (Torres J. R., 1995)**



así como los bienes culturales y materiales. Estas normas de calidad del aire se generan a partir de los criterios de calidad del aire, los cuales son documentos técnicos de la información más actualizada de cada uno de los contaminantes en lo relativo a sus características físicas y químicas, metodología de análisis, efectos en salud, en la flora, fauna, los materiales, etc.

Para poder medir los niveles de contaminantes criterio, es necesario contar con métodos que produzcan resultados comparables, es decir, que sean específicos, sensibles, estables, precisos y exactos, por lo que la medición de los niveles señalados para los contaminantes de interés se debe llevar a cabo aplicando métodos que sean equivalentes y sean comparables con los métodos de referencia. Los métodos y los instrumentos para la medición de contaminantes atmosféricos deben ser cuidadosamente seleccionados, evaluados y normalizados. Los factores que se deben considerar para que tengan confiabilidad los instrumentos analizadores de monitoreo de la calidad del aire son:

**Especificidad:** El método que se pretenda utilizar debe de ser específico únicamente para el compuesto contaminante de interés, no presentar interferencia por la presencia de otros contaminantes que se encuentran mezclados en la atmósfera.

**Sensibilidad y rango:** El rango de detección del contaminante específico, debe de ser adecuado el método a usarse.

**Estabilidad:** La muestra debe permanecer estable en el proceso de detección durante el intervalo de tiempo de muestreo y el análisis.

**Precisión y exactitud:** Los resultados deben ser reproducibles y deben representar la concentración real en la atmósfera.

**Tiempo promedio de muestreo:** El método debe cubrir los requerimientos de tiempo promedio de muestreo de interés.

**Facilidades y costos:** Se debe de considerar el costo del instrumento, el mantenimiento y la disponibilidad de consumibles, el tiempo de análisis y los requerimientos de hora-hombre, que sean congruentes con los objetivos de monitoreo y los recursos disponibles. En el caso del monitoreo automático se debe, además, considerar lo siguiente:

**Calibración y estabilidad del cero:** El instrumento debe permanecer estable sin la participación de personal durante periodos de cuando menos tres días, sin la necesidad de ajuste y calibración, lo anterior con la finalidad de que la información generada sea confiable.

**Tiempo de respuesta:** La respuesta del analizador debe ser lo más inmediatamente posible con el objeto de detectar los cambios en la concentración del contaminante estudiado que puedan ocurrir en periodos cortos de tiempo en la muestra que está siendo analizada.

**Temperatura ambiente y humedad.** El equipo no debe de variar sus condiciones de operación cuando dentro de ciertas condiciones de temperatura y humedad ambiental.

Para poder medir la calidad del aire ambiental o las emisiones puntuales de contaminantes, el método de medición se debe especificar. Un método específico para la determinación confiable de un contaminante es conocido como método de referencia. Existen métodos complementarios denominados métodos de equivalencia, los cuales proporcionan resultados comparables con los obtenidos por el método de referencia. La equivalencia es determinada aplicando pruebas estándar a la característica o principio de operación o funcionamiento del instrumento; los métodos de referencia y equivalentes pueden ser manuales o automáticos.

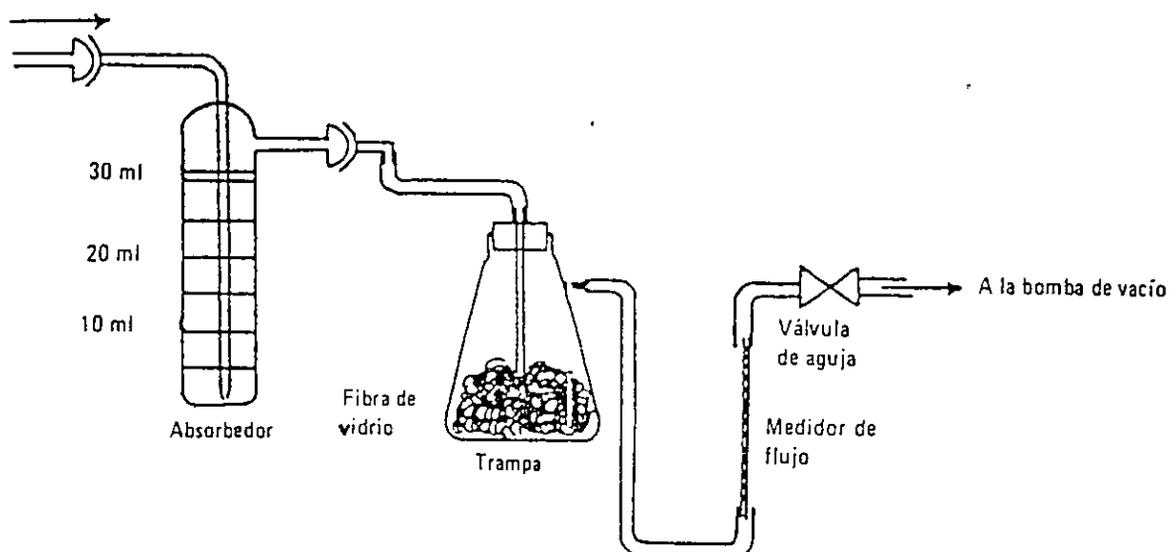
Los métodos de muestreo y de análisis, se pueden clasificar como métodos continuos o de respuesta directa, e integrados o de muestreo al azar (no continuos). Los continuos combinan el

muestreo y análisis en una sola etapa. Los integrados requieren complementarse como métodos analíticos separados.

Los muestreadores manuales generalmente, colectan muestras de tipo integrado (periodos determinados de tiempo). Un ejemplo es el muestreador de grandes volúmenes para partículas suspendidas totales (PST, Hi-Vol) y partículas menores a 10 micrones (PM10), que colecta las partículas sobre filtros de fibra de vidrio por succión a un determinado flujo de aire, y posteriormente se determina la concentración de PST o PM10, por métodos gravimétricos. La concentración de contaminantes orgánicos e inorgánicos, se establecen de la extracción o digestión de los filtros para posteriormente ser determinados por métodos colorimétricos, de absorción atómica, etc.

Los equipos manuales de burbujeo son utilizados para coleccionar bióxido de azufre, bióxido de nitrógeno y otros gases (Fig. 2.25.). Estos muestreadores, aunque estén diseñados para muestras integrales de 24 horas, pueden ser modificados para coleccionar muestras de una o dos horas en forma secuencial, de esta manera se pueden definir las variaciones horarias de los contaminantes si eso es deseable.

Fig. 2.25 Tren de muestreo integrado para gases



En los monitores automáticos, la colección y el análisis de la muestra están combinados en un solo instrumento. Estos instrumentos realizan análisis continuos y generan una señal que transmiten a una carátula analógica o una pantalla digital. La señal puede ser registrada en un graficador continuo de punto o integrar el valor en un sistema de adquisición de datos digitalizado.

Existen monitores automáticos en el mercado para todos los contaminantes criterio con excepción del plomo, los analizadores de contaminantes atmosféricos son confiables únicamente si el instrumento o el método analítico es equivalente o un método de referencia y ha sido calibrado. Si el equipo es automático, la lectura será confiable si ha sido calibrado en operación normal con gases patrón de concentración conocida de gases protocolizados como estándares de referencia, tal y como lo establece la US-EPA. Además de los gases de calibración con concentraciones conocidas, se pueden utilizar tubos de permeación normalizados, los cuales consisten en un tubo sellado de etilpropileno, que contiene el gas de interés absorbido en material inerte. Al ser sujeto este tubo a una temperatura dada, el gas en cuestión se permea a través del puerto de salida del

mismo. Esta concentración de gas arrastrado con un volumen conocido de aire limpio, produce la concentración de gas deseada, con la cual se lleva a cabo la calibración dinámica del instrumento.

## 2.5.2. Metodologías de determinación de contaminantes fotoquímicos.

### 2.5.2.1 Métodos de referencia para la determinación de oxidantes fotoquímicos.

#### 2.5.2.1.1. Método de químicoluminiscencia para la determinación de ozono.

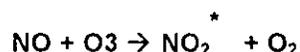
Este método involucra la reacción en fase gaseosa de ozono ( $O_3$ ) con etileno ( $C_2H_4$ ) para producir formaldehído (HCHO) y oxígeno ( $O_2$ ). Las moléculas de formaldehído aquí formadas se encuentran en un estado excitado ( $HCHO^*$ ). Las moléculas de formaldehído excitadas regresan inmediatamente a su estado no excitado, acompañadas de la emisión de fotoelectrones. Las reacciones son: Cuando el ozono y etileno se mezclan en una cámara de reacción, la reacción químicoluminiscente produce una emisión de luz, la cual es directamente proporcional a la concentración de ozono en el aire ambiente. Esta emisión de luz es medida por un tubo fotomultiplicador y asociada a un circuito electrónico. Fig. 2.26.

La calibración se realiza generando atmósferas de prueba, empleando dispositivos con lámparas de radiación ultravioleta controlando el flujo de aire y la temperatura, midiendo la concentración de ozono en la atmósfera generada utilizando el método espectrofotométrico de Ioduro de potasio (KI), con las correcciones de temperatura y presión correspondientes.

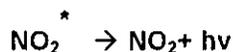
#### 2.5.2.1.2. Método de ultravioleta de referencia para la determinación de $NO_2$ .

El método se basa en la reacción de químicoluminiscencia del óxido nítrico (NO) y ozono ( $O_3$ ) en la cual se emiten fotones de energía. El  $NO_2$  es medido indirectamente reduciéndolo previamente a NO. Esta reducción se logra por el uso de un convertidor, mientras que la concentración de  $NO_2$  se calcula mediante un procesador electrónico.

Cuando el óxido nítrico reacciona con ozono se forma dióxido de nitrógeno activado, teniendo la siguiente reacción:



Posteriormente el  $NO_2^*$  recuperará su estado estable emitiendo energía de la siguiente forma:



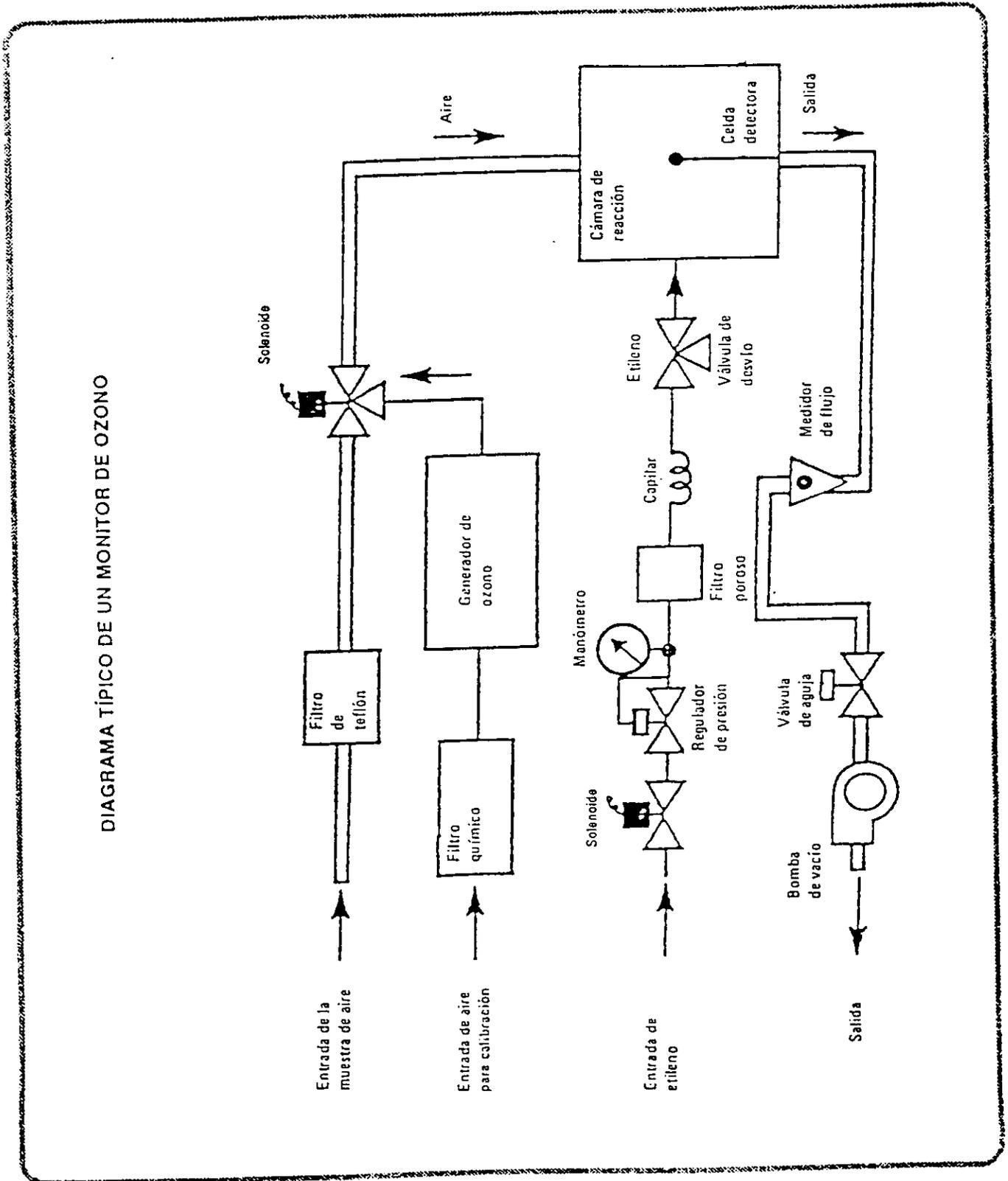
Esta energía tiene una banda de emisión característica de 600 a 2400 nm (nanómetros) con un pico a 1200 nm, y su espectro de emisión es único para la reacción NO- $O_3$ . La intensidad de luz emitida por la reacción de químicoluminiscencia es proporcional a la cantidad de NO que reaccionó y por lo tanto se puede determinar su concentración en el aire. Ya una vez reducido el  $NO_2$ , se determinara la cantidad de NO en la muestra. Como se señaló anteriormente, esta medición global dará como resultado las concentraciones sumadas de NO y  $NO_2$  totalizados como  $NO_x$ . La concentración de  $NO_2$  es determinada electrónicamente haciendo la diferencia entre  $NO_x$  y NO. El esquema general del analizador se presenta en la figura. 2.27.

#### 2.5.2.1.3. Método de referencia para la determinación de hidrocarburos.

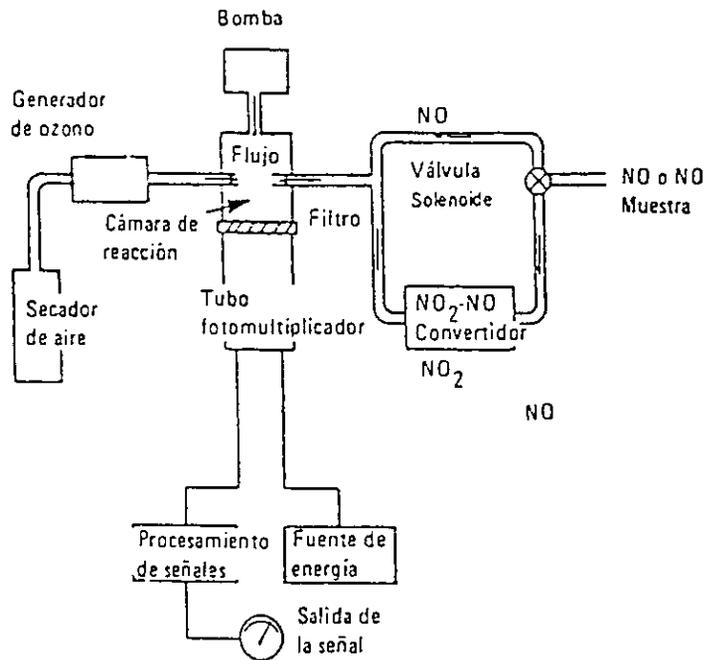
Volúmenes medidos de aire son enviados periódicamente (4 a 12 veces por hora) a un cromatógrafo de gases automático acoplado a un detector de ionización de flama de hidrógeno, para medir su contenido de hidrocarburos totales (HCT). Una alícuota de la misma muestra de aire es introducida en una columna separadora la cual remueve el agua, bióxido de carbono e hidrocarburos no metano. El metano y el monóxido de carbono son transferidos cuantitativamente

a una columna empacada de cromatografía de gases de tipo capilar en donde son separados. El metano es arrastrado primero, y es introducido sin alteración a través de un tubo de reducción catalítica dentro del detector de ionización de flama.

Fig. 2.26 Diagrama típico de un monitor de ozono automático

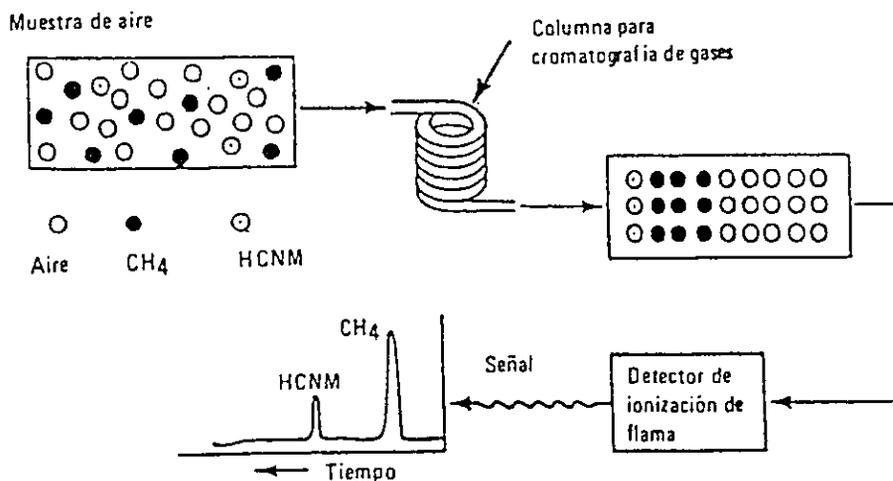


**Fig. 2.27 Analizador de óxidos de nitrógeno**



detector de ionización de flama. El monóxido de carbono es arrastrado del tubo de reducción catalítica en donde es reducido a metano antes de pasar a través del detector. Entre cada análisis la columna separadora es sometida a contraflujo para prepararla para análisis subsecuentes. La concentración de hidrocarburos corregidos por metano se determina por la sustracción del metano a los hidrocarburos totales. El esquema general de este método se presenta en la figura 2.28.

**Fig. 2.28 Esquema general del método para la detección de hidrocarburos**



En los anexos 1 y 2 se presentan en forma detallada los métodos de determinación de bióxido de nitrógeno y de ozono, así como los procedimientos de calibración de los monitores continuos de estos contaminantes.

### 2.5.3. Procedimiento de auditoría analítica.

El término de auditoría implica una evaluación y rectificación independiente de la calidad de los datos obtenidos por los métodos de monitoreo. Esto recomienda que un grupo diferente al que realiza las mediciones de rutina efectúa la auditoría, la cual será una rectificación verdadera del proceso de medición bajo operación normal, sin la necesidad de una preparación especial o ajuste al sistema. Aunque los chequeos rutinarios de verificación de calidad efectuados por el operador son necesarios para obtener y reportar datos significativos y reales, estos no serán considerados como parte del procedimiento de auditoría.

Las auditorías de operación de aseguramiento de datos, son rectificaciones independientes para evaluar la calidad de los datos producidos por el sistema total de medición (colección de muestra, análisis de la muestra y procesamiento de datos). Es una evaluación cuantitativa de calidad y se recomiendan la utilización de tres procedimientos independientes:

- a) Auditoría de flujo para colección de la muestra.
- b) Auditoría del proceso de análisis usando muestras de referencias o estándares de transferencia Protocol-EPA, o calibradores certificados.
- c) Auditoría del procesamiento de datos.

### 2.5.4. Procedimiento general para el monitoreo del aire.

Las mediciones de calidad del aire involucran: monitoreo de la calidad del aire, monitoreo de la meteorología, sistemas de calibración y adquisición de datos. Un estudio de calidad del aire bien diseñado requeriría el orden siguiente:

1. Fijar los objetivos del monitoreo.
2. Determinar los parámetros a ser medidos.
3. Fijar las especificaciones de la red, incluyendo la localización de las estaciones de monitoreo, la duración del estudio y periodos de muestreo, así como de los métodos de muestreo a utilizarse.
4. Fijar las especificaciones para las estaciones individuales en la red, incluyendo el equipo necesario para llevar a cabo el estudio, el método y frecuencia de calibración del equipo y los métodos de registro de datos.
5. Determinar el tipo de análisis, así como los métodos de manejo de los datos.

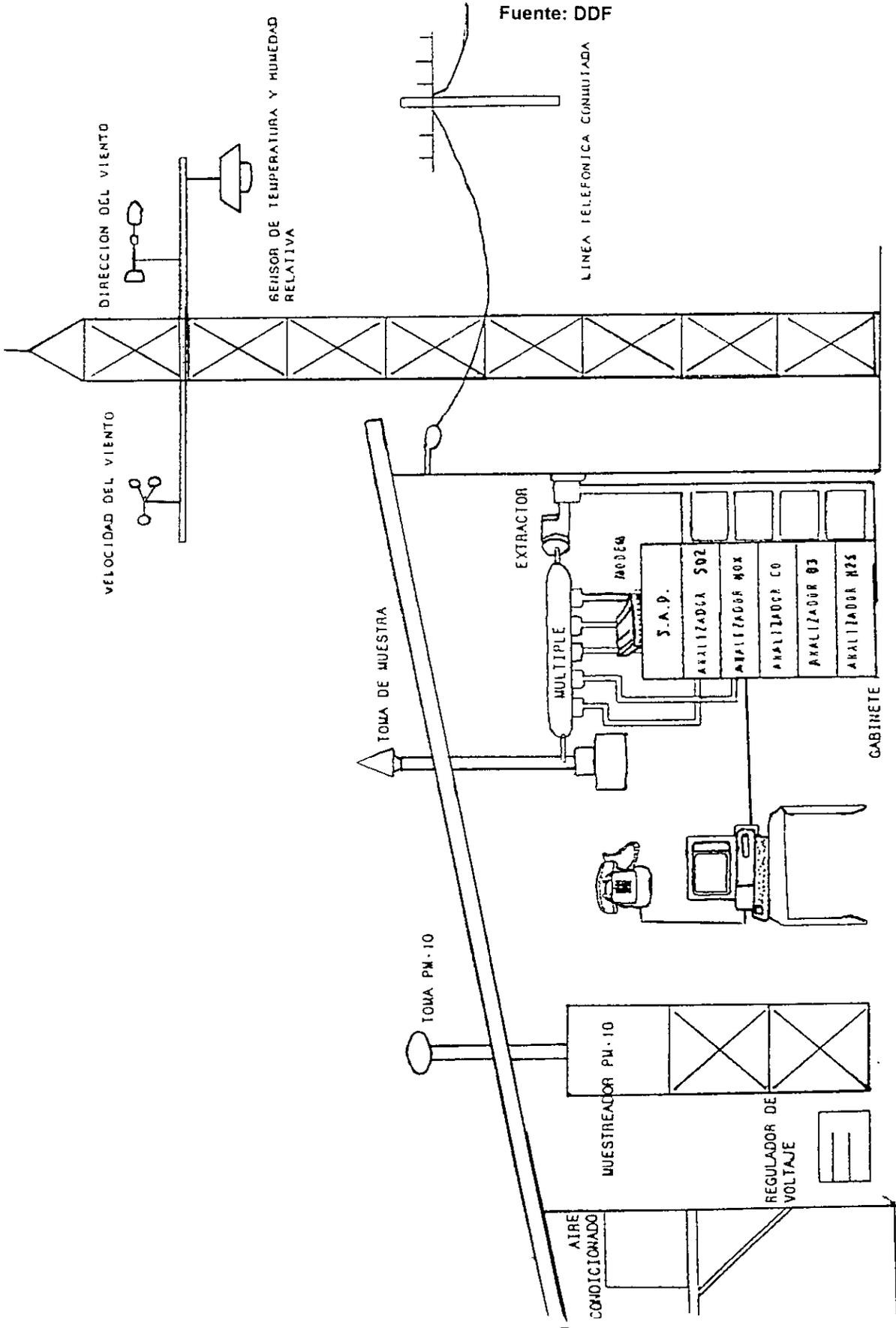
El total de las estaciones de monitoreo, estaciones meteorológicas, equipos de calibración y adquisición de datos representan la estructura operacional de una red de monitoreo de calidad del aire. El diagrama de una estación de monitoreo tipo como los que se tiene instaladas en la RAMA se presenta en la Figura. 2.29.

La selección del sitio de monitoreo depende de los objetivos que éste vaya a cumplir. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, reconoce como los principales objetivos de monitoreo los siguientes:

- Juzgar el cumplimiento de las normas de calidad del aire, y/o el progreso para lograrlo.
- Activar procedimientos de control de emergencias para prevenir episodios de contaminación atmosférica.
- Observar tendencias de contaminantes a través de la región, incluyendo las áreas no

Fig. 2.29 Configuración típica de una estación de monitoreo de la RAMA

Fuente: DDF



Configuración típica de una estación de monitoreo de la RAMA (DDF)

urbanas. Esta información sobre áreas no urbanas, es necesaria para evaluar cómo la calidad del aire en las porciones limpias de una región es o no deteriorada significativamente, y para determinar niveles de concentración de fondo.

- Prever una base de datos para la aplicación en la evaluación de efectos; ordenamiento y planeación urbana y ecológica, de uso del suelo y transportes; así como el desarrollo y validación de modelos de dispersión de contaminantes.

Para cumplir con los objetivos anteriores, se requieren criterios para la instalación tanto de la red como las estaciones individuales de monitoreo. El propósito es asegurar muestras representativas evitando interferencias de los alrededores inmediatos. Los criterios a considerar son:

- Uniformidad en la altura sobre el nivel del piso, es deseable para la red completa dentro de la región. Algunas excepciones pueden incluir: calles con trazo y tipo cañón, edificios altos y sitios para propósitos especiales de muestreo.
- Se debe evitar forzar flujos de aire en cualquier dirección colocando la entrada de las tomas de muestreo a más de 3 metros de edificios u otras obstrucciones y sin la influencia de corrientes de convección.
- Los alrededores deben estar libres de la influencia de chimeneas u otros puntos locales de emisión.
- Se sugiere una elevación de 3 a 6 metros. De esta manera, se evita que las partículas depositadas en el suelo entren nuevamente al muestreador, así como la influencia directa de la emisión de los automóviles

Para realizar adecuadamente el monitoreo de la calidad del aire, es necesario considerar diferentes tipos de estaciones; dependiendo de los objetivos del monitoreo de la calidad del aire, se pueden clasificar en los tipos siguientes:

Tipo A. Estación para la evaluación de la exposición de peatones.

Tipo B. Estación para la evaluación de la exposición en zonas urbanas de alta actividad.

Tipo C. Estación para la evaluación de exposición en zonas residenciales.

Tipo D. Estación para evaluación a mesoescala.

Tipo E. Estación de fondo no urbana.

Tipo F. Estación para el estudio de fuentes específicas de contaminación atmosférica (orientadas a fuentes fijas y móviles de emisión de contaminantes).

### **2.5.5. Selección del sitio de monitoreo.**

Un estudio de monitoreo completo deberá estar acompañado de una adecuada selección del sitio para efectuarlo. Se ha establecido que un 60% del éxito del monitoreo depende de la selección del sitio, ya que no basta con conocer el principio de los métodos de medición. En efecto, existen recomendaciones de la EPA y normatividad ambiental nacional, sobre el equipo y qué procedimiento ya está aprobado. La selección del sitio requiere de la conjugación de suficientes datos descriptivos de la localidad objeto del monitoreo: climatología, meteorología, densidad de población, inventarios de emisiones, conocimientos suficientes de química atmosférica y manejo de modelos de dispersión, entre los más importantes. Primero por ejemplo, para localizar una estación de monitoreo para  $O_3$ ,  $NO_2$  y NMHC, se deberán ubicar las zonas emisoras de  $NO_2$  y

NMHC; después se utilizará la meteorología para conocer las direcciones de vientos más frecuentes; y posteriormente se efectuarán varios procedimientos de selección del mejor sitio de acuerdo de los objetivos específicos de la medición.

Las figuras 2.30., 2.31. y 2.32., presentan esquemas resumidos de los aspectos básicos de selección de estaciones de monitoreo de O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub> y NMHC. La experiencia de los trabajos de monitoreo es el único procedimiento para adquirir criterio que permitan una adecuada localización de los mejores sitios de muestreo y análisis del aire de acuerdo con los criterios de la US-EPA.

## 2.6. Índice Metropolitano de la Calidad del Aire.

La necesidad de establecer parámetros indicativos de la calidad del aire con relación a sus efectos en la salud, de fácil entendimiento para el público en general, ha llevado aplicar los índices de calidad del aire. Tales índices tienen como objetivo informar a la población de una manera veraz la calidad del aire respirable, y deben de cumplir, con las siguientes características:

- Ser de fácil comprensión.
- Ser consistente con los niveles de contaminación percibidos por la población.
- Tener una base científica con relación a los efectos potenciales en la salud.
- Poder ser estimado a corto plazo (24 horas) con suficiente confiabilidad.
- Utilizar los valores máximos en cada zona de interés para su calculo.

La mayoría de los índices utilizados en algunos países, como Canadá y Estados Unidos, incorporan seis contaminantes (monóxido de carbono, ozono, bióxido de azufre, bióxido de nitrógeno, partículas suspendidas totales y la fracción respirable PM-<sub>10</sub>) así como el factor aditivo o sinérgico. Estos índices representan una calificación cualitativa de la calidad del aire determinada cuantitativamente. Dicha función lineal debe estar construida a partir de la información epidemiológica obtenida respecto a los efectos en la salud en la población de cada uno de los contaminantes.

El primer índice de calidad del aire aplicado en México se estableció a finales de los años setenta y fue denominado "Índice Mexicano de Calidad del Aire" (IMEXCA), "una replica mal traducida del Pollution Standard Index (PSI) de los Estados Unidos (Tabla 2.3), situación que se reflejó en un índice carente de bases científicas y de ética ambiental" (Bravo, com. per. 1997). En la Tabla 2.4., se comparan diferentes descriptores de calidad del aire de Estados Unidos y se comparan estos con los establecidos en México. De entre las fallas, se puede señalar la incongruencia de los puntos de quiebre de la función lineal del IMEXCA en comparación con los puntos respectivos del índice PSI, de forma tal que arbitrariamente se fijaron puntos de quiebre, sin haber aplicado un conocimiento científico y técnico de los efectos esperados para una población que se encuentra a 2240 metros sobre el nivel del mar. Esto último, motivo la corrección de este índice dando origen al Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA), El IMECA aplica el índice 100 al valor correspondiente a la norma de calidad del aire para cada uno de los contaminantes, exceptuando PM-10 y PM-2.5; y de este valor se tiende una línea recta hasta el valor 500, que corresponde al mismo índice PSI, conocido como índice UNIP es usado internacionalmente cuando se carece de información epidemiológica confiable. En la Tabla 2.5. se presentan las concentraciones de contaminantes según el IMECA de acuerdo a la normatividad vigente. En la actualidad el índice de calidad del aire se define como el producto de una función de transformación de los datos generados por la RAMA, de niveles de concentración de los contaminantes a un valor simple, representativo de la calidad del aire en una región determinada. El IMECA consta de varios algoritmos de cálculo fundamentales; los primeros son para la obtención de subíndices correspondientes a diferentes indicadores de la calidad del aire, y los segundos, para la combinación de éstos en un índice global. El primero 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. Al primero se le asignó el valor de 100 y al segundo el de 500; entre estos dos puntos no se definen ninguno más, lo que le da una inconsistencia al momento de su aplicación. Principalmente, el IMECA debe tener la función de mantener

Fig. 2.30 Diagrama esquemático del procedimiento para seleccionar sitios de monitoreo para oxidantes fotoquímicos

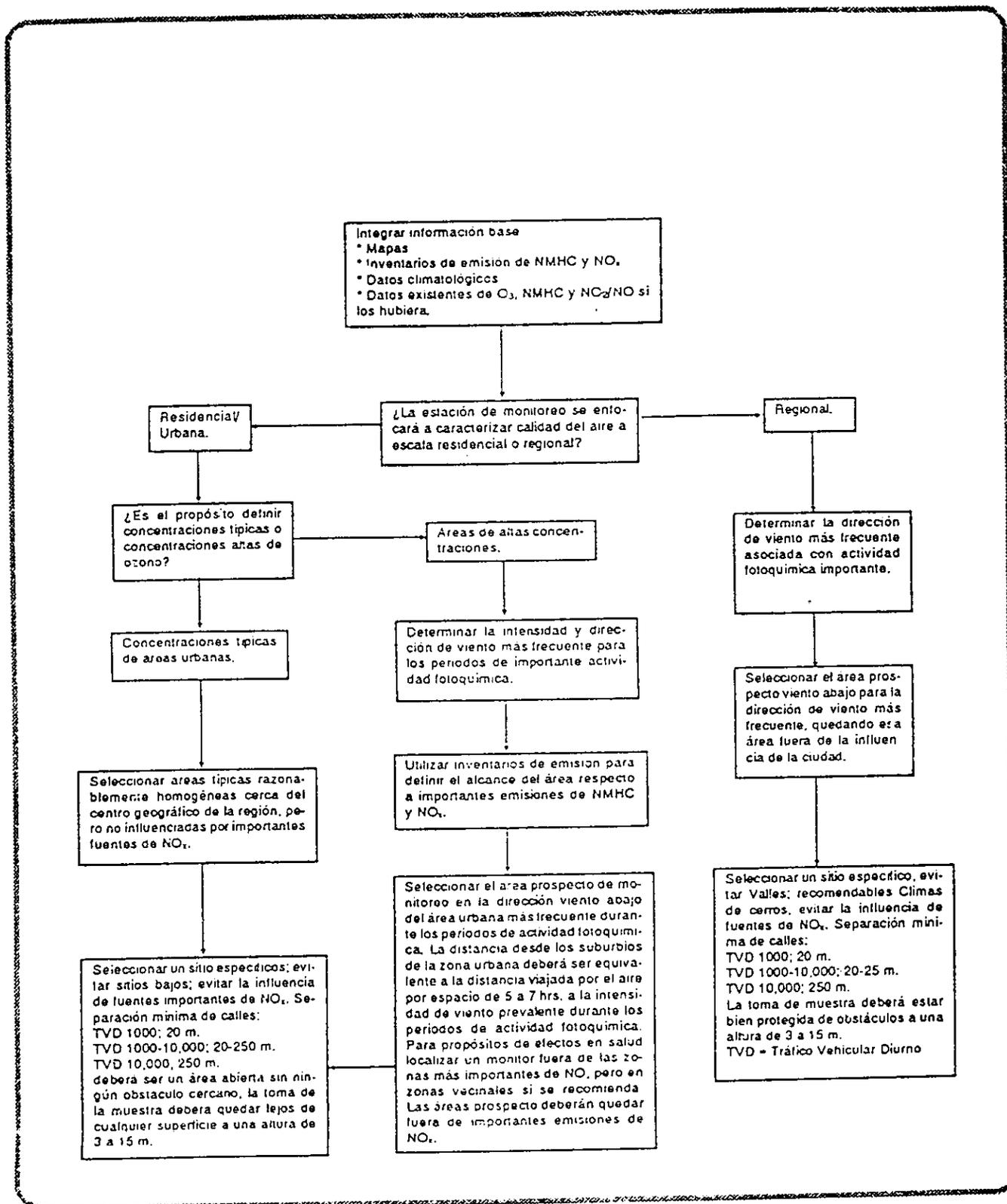


Fig. 2.31 Diagrama esquemático del procedimiento de selección de sitios de monitoreo para NO y NO<sub>2</sub>

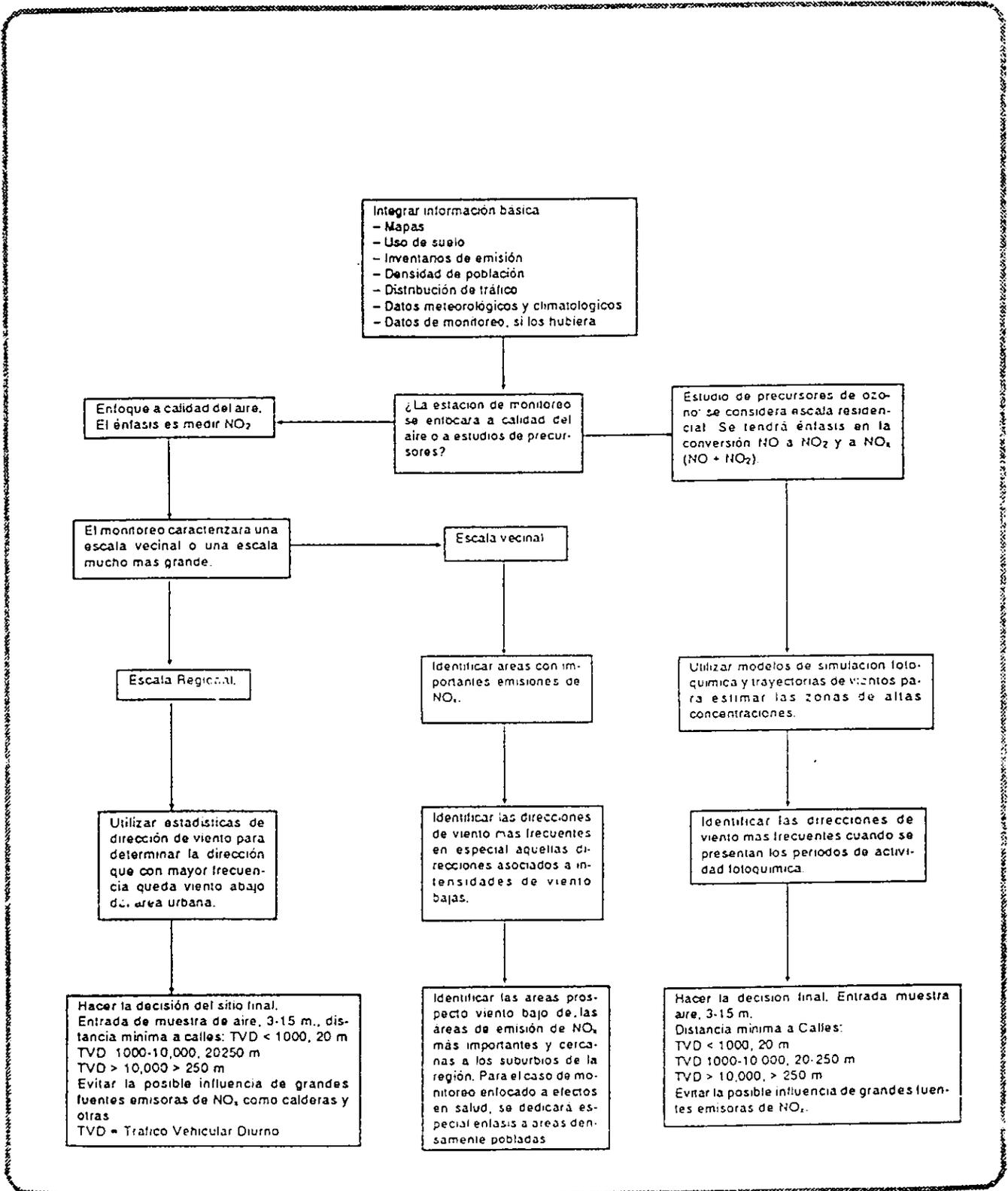


Fig. 2.32 Diagrama esquemático para seleccionar sitios de monitoreo de NMHC

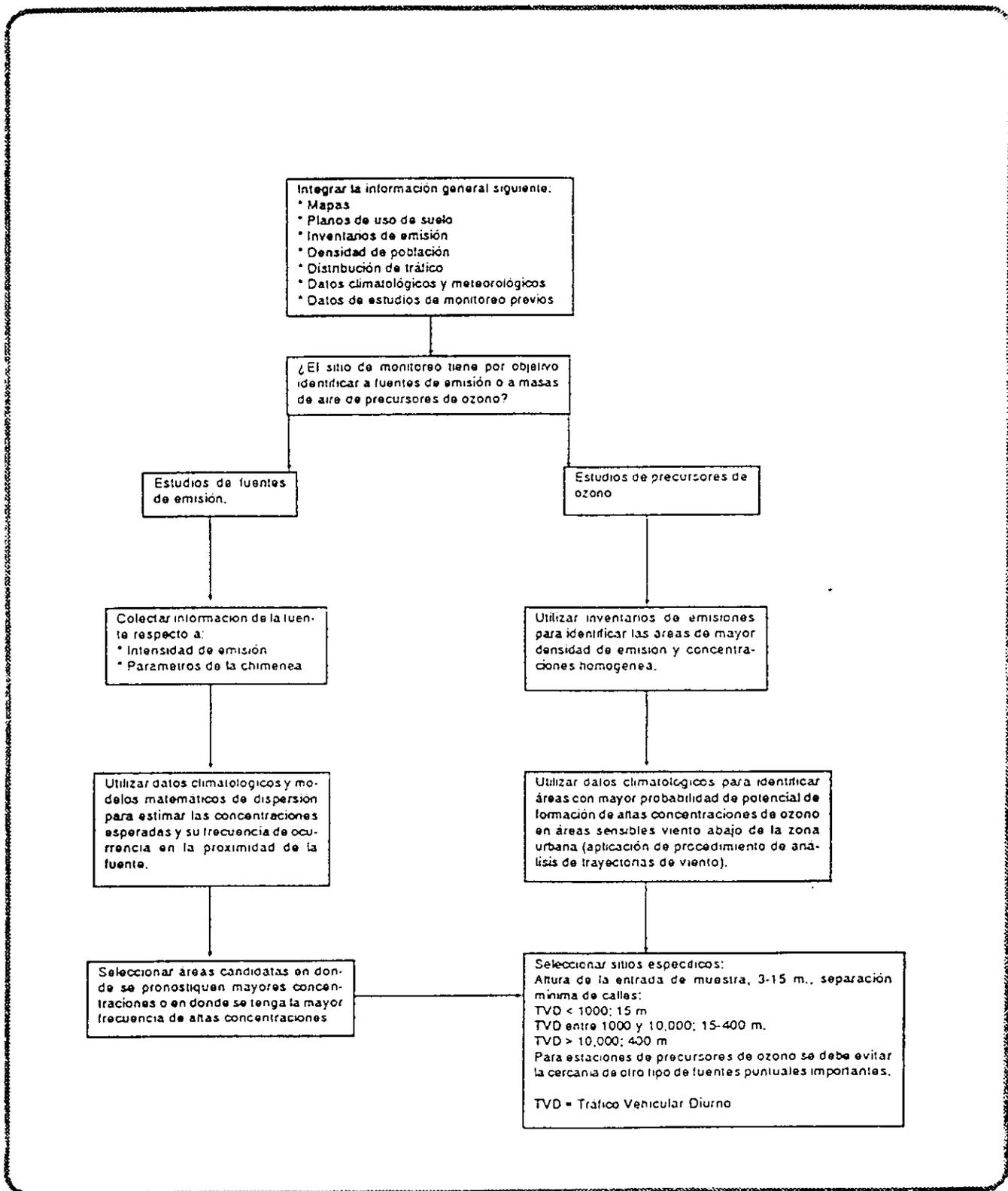


Tabla 2.3 Comparación del índice PSI (Pollution Standard Index) con concentraciones de contaminantes, con descriptores calificativos y recomendaciones precautorias

Comparación de valores del índice PSI (Pollution Standard Index) con concentraciones de contaminantes, con descriptores calificativos y recomendaciones precautorias									
Valor del índice	Nivel de calidad del aire	PST (24 hrs) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO <sub>2</sub> (24 hrs) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	CO (8 hrs) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	O <sub>3</sub> (1 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO <sub>2</sub> (1 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Descriptor por su efecto en la salud	Efectos generales en la salud	Recomendaciones de precaución
500	Daño significativo	1000	2620	57.5	1200	3750		Muerte prematura de enfermos y ancianos. Las personas saludables experimentarán síntomas adversos que afectarán su actividad normal.	Todas las personas deberán permanecer en intramuros, manteniendo cerradas las ventanas y puertas; todas las personas deberán minimizar la realización de ejercicio y evitar tráfico.
400	Emergencia	857	2100	46.0	1000	3000		Ataques prematuros de ciertas enfermedades además de agudización significante de síntomas así como decremento de la tolerancia al ejercicio en personas saludables.	Los ancianos y las personas enfermas deberán permanecer en intramuros y deberán evitar ejercicio físico. La población en general deberá evitar la actividad en extramuros.
300	Advertencia	625	1600	34.0	800	2260	Peligrosa		Los ancianos y las personas con padecimiento cardíaco y pulmonares deberán permanecer en intramuros y reducir la actividad física.
200	Alerta	375	800	17.0	400 <sup>c</sup>	1130	Muy insalubre	Agudización significativa de síntomas y decremento de la tolerancia al ejercicio en personas con padecimientos cardíacos o pulmonares, con presencia de síntomas muy variados en la población saludable.	Las personas con achaques cardíacos o respiratorios deberán reducir ejercicios físicos y actividad en extramuros.
100	Norma de calidad del aire	260	365	10.0	160	a	Insalubre	Agudización regular de los síntomas en personas susceptibles, con irritación y síntomas en población saludable.	
50	50% de la norma de calidad del aire	75 <sup>b</sup>	80 <sup>b</sup>	5.0	80	a	Moderada		
0		0	0	0	0	0	Buena		

a = No se cuenta con valores a este nivel; b = Norma anual primaria de calidad del aire.



informada a la población sobre la calidad del aire con relación a los efectos en la salud de la población de la ZMCM, así como observar el comportamiento de los distintos contaminantes y del aire entre zonas que utilicen índices similares. Para tal efecto, la ZMCM se dividió en cinco zonas, en las cuales se reportan los índices, correspondiendo el índice al valor más elevado del contaminante de cualquiera de las estaciones que se encuentran en cada una de las cinco zonas en la Figura 2.33., se puede observar el reporte del IMECA de la zona suroeste generado diariamente por la Comisión Ambiental Metropolitana disponible en la Red Mundial Internet y que es

distribuido en los medios de comunicación masiva, escuelas, hospitales e industrias, mientras que en la Tabla 2.6. se presentan los efectos y recomendaciones determinadas para los diferentes niveles del IMECA. En la figura 2.34., se presentan los niveles de ozono registrados por la RAMA en el periodo comprendido de 1990-1995, en diferentes rangos de aplicación del IMECA. Se deduce que la calidad del aire por ozono en la ZMCM esta rebasada en todos los años presentando una sensible baja en la tendencia en los rangos por arriba de los 300 IMECA, pero manteniéndose al mismo nivel y con un cambio poco perceptible las tendencias en valores de más de 100 IMECA lo que refleja claramente que las acciones implementadas para el control del ozono han tenido poco efecto en el control del problema, este tipo de análisis no es validada debido a que la norma de calidad del aire para ozono es de 0.11 ppm en una hora en un día, un día al año esta referida en concentración y no en IMECAS.

Los niveles del IMECA están asociados a las diferentes etapas de aplicación de medidas para prevenir y mitigar las situaciones de contaminación atmosférica, tal es el caso de la aplicación del Plan de Contingencias Ambientales, que a partir de diversas condiciones de la calidad del aire expresado en IMECA se activan y establecen medidas que pretenden controlar la situación de contingencia ambiental. El IMECA presenta algunos aspectos que deben ser evaluados y discutidos, ya sea para adecuarlos y modificarlos para que respondan objetivamente a las condiciones reales de calidad del aire imperante en la ZMCM; entre los aspectos que se deben considerar, se encuentran los siguientes:

El procedimiento de aplicación del IMECA por parte de las autoridades responsables consiste en determinar en tiempo real los valores de monitoreo de la RAMA agrupadas en cinco zonas "representativas" de la actividad urbano-industrial.

Las observaciones según Bravo et-al, 1992 que surgen de este procedimiento son:

1. Que la delimitación de las zonas fue realizada geométricamente, más no apoyadas en estudios de distribución espacial y temporal de los contaminantes;
2. Es necesario ampliar la RAMA para la determinación de contaminantes en zonas no urbanas.
3. Actualizar periódicamente y dar a conocer públicamente el algoritmo para la determinación del IMECA.

En la figura 2.35., se puede comparar las normas mexicanas de calidad del aire con las similares de España, Estados Unidos, Israel y Japón (DDF-1994).

## 2.7. Programa de contingencias Ambientales, PCA.

El programa de contingencias ambientales de la ZMCM tiene como objetivo principal el evitar la exposición de la población, en especial a los grupos más sensibles como los niños, ancianos y enfermos, a niveles de concentración de contaminantes que signifiquen riesgos para su salud. El PCA se fundamenta en cinco principios básicos:

**Prevención:** para que otorgue una oportunidad real de incidir a tiempo en los procesos de formación de ozono, de tal manera que se reduzca considerablemente la probabilidad de llegar a niveles de alto riesgo para la salud.

**Activación automática basada en criterios de salud ambiental:** el nivel de activación automática cuando se presenten simultáneamente 225 puntos IMECA de ozono y 125 de PM<sub>10</sub>.

**Correspondencia con el inventario de emisiones:** la eficacia del PCA depende críticamente de la lista de participantes, la cual debe incluir a los agentes que contribuyen mayoritariamente a la contaminación atmosférica.

ZONA NOROESTE

ZONA CENTRO

ZONA NORESTE

ZONA SUROESTE

ZONA SURESTE

Último Reporte

Máximos Valores

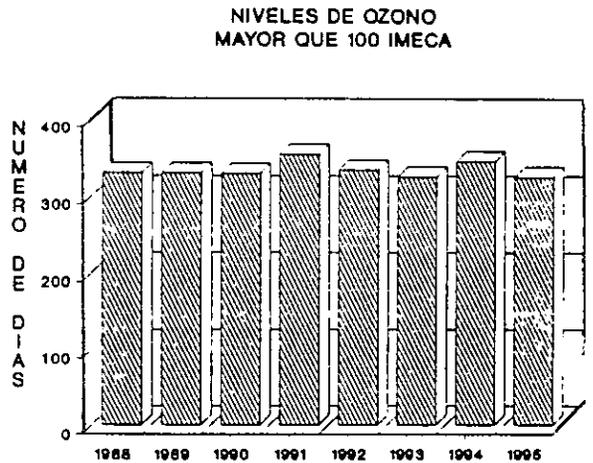
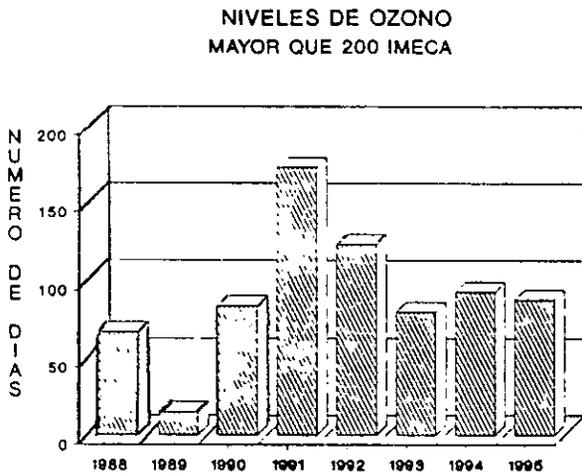
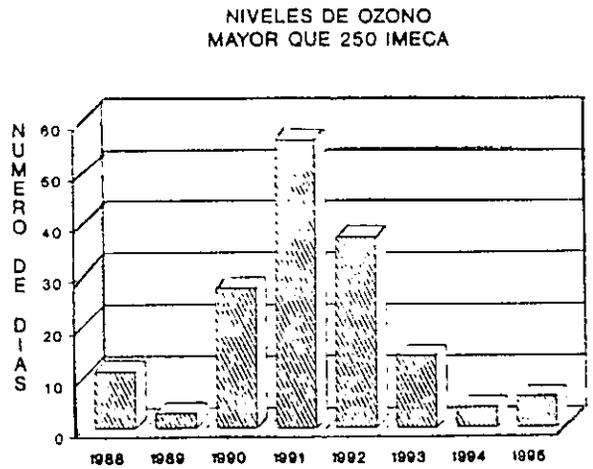
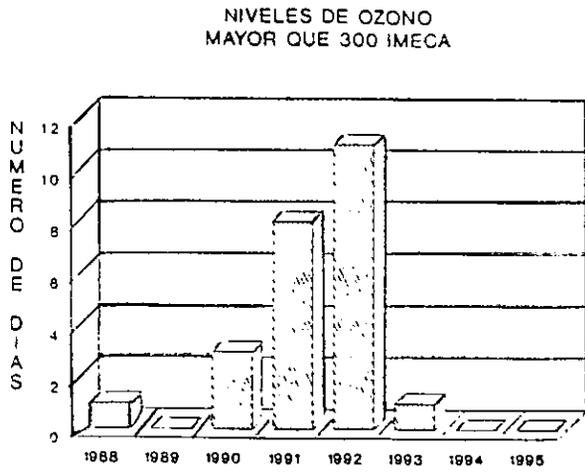
Fig. 2.33 Ejemplo del reporte IMECA



Reporte de la calidad del aire - Ciudad de México  
Fecha: 06 de mayo de 1998

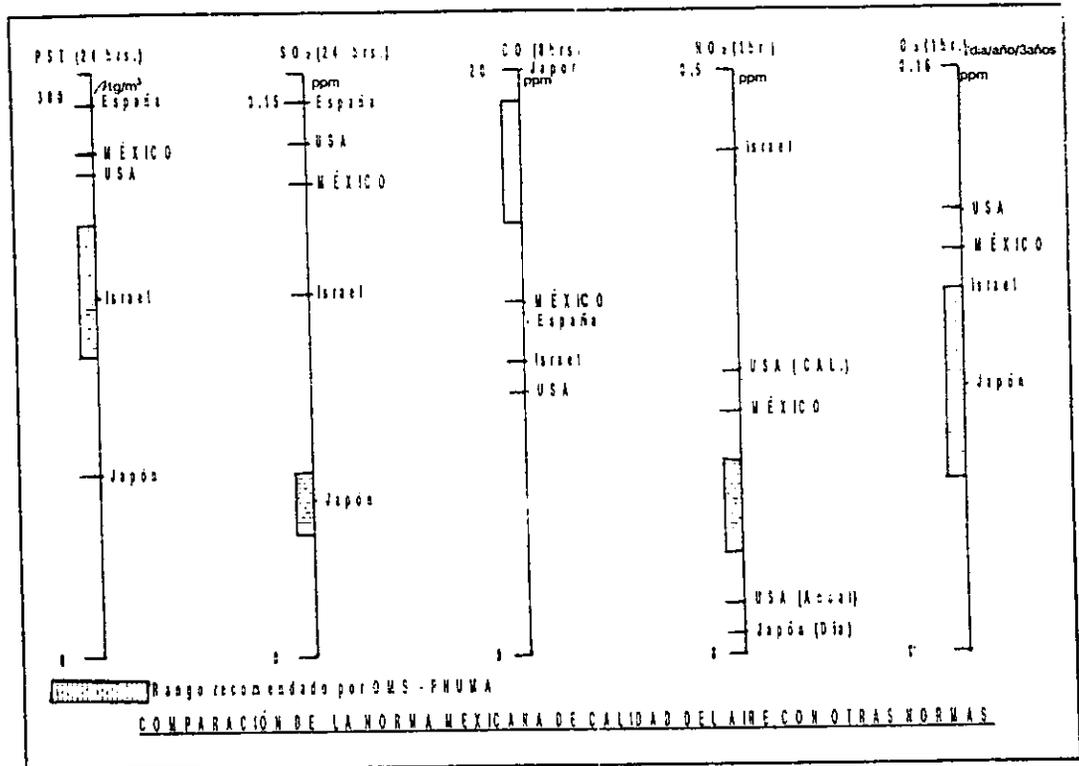
	<u>Ozono</u> $O_3$	<u>Bióxido de Nitrógeno</u> $NO_2$	<u>Bióxido de Azufre</u> $SO_2$	<u>Monóxido de Carbono</u> CO	<u>Partículas Suspendidas</u> PM-10	<u>INDICE UV</u>
07:00	37	22	8	30	83	0
08:00	21	38	8	32	84	0
09:00	39	42	8	37	84	0
10:00	30	68	8	45	85	0
11:00	50	90	8	55	86	2
12:00	113	50	8	61	85	4
13:00	208	37	8	65	85	5
14:00	218	35	9	68	86	6
15:00	187	27	10	67	85	6
16:00	175	21	12	62	85	5
17:00	160	17	12	54	85	4
18:00	135	22	12	46	84	2
19:00	103	25	13	36	84	0

Fig. 2.34 Niveles de ozono a diferentes rangos IMECA 1990-1995.



Fuente: Secretaria de Medio Ambiente, D.D.F. 1996

**Fig. 2.35 Comparación de las normas mexicanas de calidad del aire con la utilizada en otros países, para el valor de 100 IMECA.**



Fuente: Comisión Ambiental Metropolitana

**Consistencia con el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México, PROAIRE:** porque ambos programas han sido concebidos como complementarios, dirigidos hacia objetivos comunes y diseñados de tal manera que sus acciones se refuerzan permanentemente.

**Claridad en su diseño y sencillez de aplicación:** las reglas de participación deben ser claras y las señales que ahí se desprendan deberán de ser consistentes y de largo plazo. La sencillez de su aplicación facilita la obtención de mayores niveles de costo-efectividad.

En la Tabla 2.6. se presentan de manera esquemática algunas consideraciones sobre los fundamentos del Programa de Contingencias Ambientales, así como las medidas que lo constituyen. La Comisión Ambiental Metropolitana modificó en mayo de 1998 el Plan de Contingencias Ambientales fue modificando y reforzado incluyendo las siguientes medidas:

Fortalecimiento del operativo de detención y sanción de los vehículos ostensiblemente contaminantes

Actualización del padrón de empresas que participan en el Programa de Contingencias.

Regulación de las actividades de carga y descarga en horarios nocturnos.

Modificación del Doble Hoy No Circula, cabe mencionar que cuando se presenta una contingencia ambiental Fase I, dejarán de circular de manera alternada, pares y nones, los vehículos con holograma número "2". Con esta medida, el porcentaje de vehículos con este holograma que dejarán de circular en una contingencia se elevará de 40% al 50%. Si la contingencia ambiental se prolonga por tres o más días, a partir del tercer día y durante los días subsiguientes que prevalezca

**Tabla 2.6 Efectos y recomendaciones, según niveles del IMECA**

<i>Criterios de calidad del aire</i>	<i>Nivel para la salud</i>	<i>Efectos en la salud</i>	<i>Medidas de precaución</i>
Daño Significativo (500 IMECAS)	Muy Peligroso	Muerte prematura de enfermos y ancianos. Personas sanas experimentan síntomas adversos que afectarán sus actividades normales.	Todas las personas deben quedarse en sus casas cerrando puertas y ventanas. Todas las personas deben minimizar las actividades físicas y evitar tráfico.
Emergencia (400 IMECAS)	Peligro	Aparición prematura de algunas enfermedades en adicción al agravamiento significativo de síntomas y tolerancia decreciente al ejercicio en personas sanas.	Ancianos y personas con enfermedades deben quedarse en sus casas y evitar actividades físicas. La población en general debe evitar actividades en el exterior.
Advertencia (300 IMECAS)	Muy Insalubre	Agravamiento significativo de síntomas y decreciente tolerancia al ejercicio en personas con enfermedades cardíacas y respiratorias. Amplia sintomatología en la población sana.	Ancianos y personas con enfermedades cardíacas y respiratorias deben quedarse en sus casas y reducir las actividades físicas.
Alerta (200 IMECAS)	Insalubre	Agravamiento leve de síntomas en personas susceptibles. Síntomas de irritación en la población sana.	Personas con problemas cardíacos y respiratorios deben reducir los ejercicios físicos y las actividades en el exterior.
Norma (100 IMECAS)	Moderado		
50% de la norma	Bueno		

**FUENTE:** Finkelman, Jacobo. "Medio ambiente y salud en México". En: Medio Ambiente y Desarrollo en México, Enrique Laff (Coordinador). Vol. II, CIIH y Porrúa. 1990. p. 629.

**Tabla 2.7 Fundamentos y medias del Programa de Contingencias Ambientales, PCA.**

<b>Instrumento de Emergencia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El Programa de Contingencias es sólo un instrumento de respuesta rápida ante emergencias ambientales que provocan un deterioro considerable en la calidad del aire. Es un recurso efectivo con el que cuenta la sociedad metropolitana para prevenir costos y daños mayores a la salud de la población. Estas condiciones atmosféricas desfavorables se relacionan con:             <ul style="list-style-type: none"> <li>inversiones térmicas de baja altura de gran magnitud y persistencia</li> <li>sistemas de alta presión</li> <li>sistemas anticiclónicos</li> <li>alta radiación solar</li> </ul> </li> <li>Como es evidente, el Programa de Contingencias no es algo que resuelva el problema de fondo, esa es una función del Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México.</li> </ul>
<b>El Programa de Contingencias está basado en la mejor información disponible</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El nuevo Programa de Contingencias es resultado de un cuidadoso análisis del inventario de emisiones, donde se han identificado las actividades y sectores que tienen la mayor contribución relativa a la generación de precursores de ozono. El programa actúa sobre esos sectores con el objeto de reducir el mayor volumen posible de emisiones, al menor costo y de la manera más efectiva.</li> <li>La aplicación del Programa de Contingencias busca la reducción en las concentraciones de ozono por debajo del umbral de los 250 puntos IMECA. Aunque esto se lograra, si prevalecieran condiciones atmosféricas desfavorables sería necesario mantener la vigencia del programa, de lo contrario al incrementarse nuevamente las emisiones sin una dispersión adecuada, se correría el peligro de sobrepasar nuevamente los 250 puntos IMECA.</li> <li>Desde luego que el Programa de Contingencias tiene un costo para las industrias y para los automovilistas. Sin embargo, este costo es mucho menor que el que tendría que asumir toda la sociedad, especialmente los más desfavorecidos, en términos de daños a la salud, pérdida de horas hombre por enfermedad, gastos de atención médica y riesgos de generación de mayores afecciones en el largo plazo.</li> </ul>
<b>El Programa de Contingencias está siendo revisado para incrementar su eficiencia y efectividad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Como instrumento de emergencia el Programa de Contingencias demanda una gran racionalidad para ser efectivo y eficiente. Esto significa que debe lograr reducir el mayor volumen total de emisiones de precursores de ozono al menor costo social posible.</li> <li>Por esta razón se está desarrollando una nueva normatividad específica para situaciones de contingencia atmosférica, entre lo que se incluye la sustitución del Doble Hoy No Circula.</li> </ul>

**Fase I : se activa al llegar a los 250 puntos IMECA**

Sector	Primer Semestre de 1996	A partir del Segundo Semestre de 1998	A partir de 1997
Vehículos	Doble Hoy No Circula	Norma de contingencia (emergente) HC y CO	Norma de contingencia HC, CO, NOx
Industria	Reducción 30%-40% de actividad	Reducción 30%-40% Norma de contingencia (emergente) HC y NOx, excepto grandes emisores	Norma de contingencia HC y NOx excepto grandes emisores
Gasolineras	Cierran 20% que no cuentan con equipos de recuperación de vapores	Cierran 20% que no cuentan con equipos de recuperación de vapores	Cierran 50% que no cuentan con equipos de recuperación de vapores
Distribución de Gas LP	Suspensión de actividades de purgas y desfogues	Suspensión de actividades de purgas y desfogues	Suspensión de actividades de purgas y desfogues
Escuelas	Cese de actividades al aire libre	Cese de actividades al aire libre	Cese de actividades al aire libre
Mantenimiento Urbano	Se suspenden actividades de bacheo, pintura, pavimentación y obras que entorpezcan la circulación Se establecen dispositivos de agilización de tránsito	Se suspenden actividades de bacheo, pintura, pavimentación y obras que entorpezcan la circulación Se establecen dispositivos de agilización de tránsito	Se suspenden actividades de bacheo, pintura, pavimentación y obras que entorpezcan la circulación Se establecen dispositivos de agilización de tránsito
Vigilancia	Sistema especial de inspección y vigilancia en industria y gasolineras Sistema especial de vigilancia vehicular	Sistema especial de inspección y vigilancia en industria y gasolineras Sistema especial de vigilancia vehicular	Sistema especial de inspección y vigilancia en industria y gasolineras Sistema especial de vigilancia vehicular
Salud	Vigilancia epidemiológica Información y prevención en escuelas	Vigilancia epidemiológica Información y prevención en escuelas	Vigilancia epidemiológica Información y prevención en escuelas

**Fase II : se activa al llegar a los 350 puntos IMECA**

- Se mantienen todas las medidas establecidas en la Fase I
- Se decreta asueto general para oficinas públicas, banca y escuelas
- Se exhorta al sector privado a suspender labores

la contingencia, se aplicará la Fase II, que entre otras medidas restringirá la circulación de todos los vehículos con holograma"2".

Por último y con el objeto de dar la respuesta adecuada a los diferentes tipos de contingencias atmosféricas, se establecen los siguientes criterios:

Si el episodio de contaminación atmosférica se deba fundamentalmente al ozono, las medidas de contingencia deberán aplicarse cuando se alcancen los 240 IMECAS para ozono y suspenderse cuando estén por debajo de 180 IMECAS para ozono.

Cuando la contaminación atmosférica se deba fundamentalmente a las PM<sub>10</sub>, las medidas de contingencia deberán aplicarse al llegar a los 175 IMECAS para PM<sub>10</sub> y suspenderse cuando vuelvan a estar por debajo de 150 IMECAS.

Cuando la contaminación atmosférica se deba tanto a ozono como a PM<sub>10</sub>, las medidas de contingencia deberán aplicarse cuando rebasen los 225 IMECAS de ozono y 125 de PM<sub>10</sub>, y suspenderse hasta que el ozono vuelva a estar por debajo de los 180 IMECAS.

## **2.8. Normas oficiales mexicanas aplicables.**

Con la creación de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, dependiente de la Secretaría de Salubridad y Asistencia Pública (SSA, 1970), se empiezan a decretar diferentes disposiciones gubernamentales para poder enfrentar el creciente problema de la contaminación ambiental de la Ciudad de México. El 23 de marzo de 1971 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, así como sus reglamentos: el de la prevención y control de la contaminación atmosférica originada por la emisión de humos y polvos del 17 de septiembre de 1971 y el de la prevención y control de la contaminación originada por la emisión de ruidos, este último aprobado el 6 de diciembre de 1982. El 14 de julio de 1972 se dicta un Acuerdo que fija las bases a las que se sujetará la fabricación de equipo y dispositivos para prevenir y controlar la contaminación ambiental, lo anterior con la finalidad de impulsar a la industria nacional, e inducir la incorporación y fabricación en México de la tecnología necesaria para el control de los procesos industriales, a partir de la instalación de sistemas de control de los procesos industriales y la reconversión tecnológica, esto como una respuesta al alto costo del equipo fabricado en el extranjero. Desde entonces ya se conocía el peligro que representaba la industria automotriz, cuyos motores no eran aptos a las condiciones geográficas de la ciudad.

Con el propósito de obligar a los fabricantes de vehículos a construirlos con una tecnología adecuada, se aprobó el 29 de octubre de 1976, el decreto que fija los límites permisibles de emisiones de los gases de escape de los vehículos automotores nuevos que usan gasolina como combustible, este fue el periodo en el que las autoridades encargadas de la política ambiental del país negaron el problema de la contaminación atmosférica en la ZMCM y sus efectos en la salud de la población y en el ambiente.

No es sino hasta 1984 que la Ley Federal de Protección al Ambiente, se derogan, adicionan y reforman diversas disposiciones para introducir nuevas sanciones y hacer un cambio importante, en este periodo se generó un conflicto de credibilidad del sector gobierno en materia de medio ambiente, lo que presento como alternativa, aunque no necesariamente trascendente para la solución del problema: las funciones relativas a la contaminación se trasladan de la Subsecretaría del Medio Ambiente y de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, a la recién creada Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, en donde se crea también la Subsecretaría de Ecología. En agosto de 1983 se creó en el DDF una Comisión de Ecología y en 1985 nace la Comisión Nacional de Ecología y es hasta el 22 de diciembre que se derogan todas las leyes de la materia, sus decretos, acuerdos, reglamentos y demás disposiciones gubernamentales, para dar paso a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. El 25 de noviembre de 1988 se publican tres reglamentos de la Ley del Equilibrio Ecológico: 1) en Materia y Prevención y

Control de la contaminación de la atmósfera; 2) en Materia de Residuos Peligrosos; y 3) para la prevención y control de la contaminación generada por los vehículos automotores que circulan por el D.F. y municipios de su zona conurbana. Las funciones de prevención, control y sanciones a las fuentes contaminantes han recorrido durante años diversas dependencias y periodos gubernamentales, como consecuencia no se ha logrado consolidar una infraestructura administrativa sólida ni una política ecológica estable. De la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente de la SSA paso a la Dirección de Ecología de la SAHOP (1977); de ahí a la Subsecretaría de Ecología de la SEDUE (1983), y finalmente a los gobiernos estatales y municipales (1988). Hasta 1991 la principal injerencia en el control de la contaminación se tenía en el DDF, el Gobierno de Estado de México y los municipios conurbados, aunque también otras dependencias federales se encargan de la elaboración de normas para la emisión de contaminantes en vehículos nuevos, como la SEMIP y la SECOFI; además de la CONADE, y las comisiones pertenecientes al poder legislativo en las cámaras de Senadores y Diputados y en la Asamblea de Representantes del DF. La Secretaría de Salud se encargada de la emisión de normas referentes a los impactos en la salud de la población, así como PEMEX y IMP con el compromiso de responder de la calidad de los combustibles utilizados en los automotores y la industria y por último la CFE, con relación a los sistemas de control de emisiones de las plantas generadoras de energía que consumen combustibles fósiles.

De 1988 a 1992, se generan las normas técnicas ecológicas, relativas al medio ambiente pero sin una fundamentación científica y técnica clara, las cuales establecían las disposiciones, otorgadas por los reglamentos. La SEDUE se transforma en la SEDESOL, generando dos organismos desincorporados: uno encargado de la normatividad ambiental (Instituto Nacional de Ecología) y otro operativo, Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). En 1994 se crea la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). La gran diversidad de dependencias organismos que han participado, participan e intervienen en la gestión y control de la contaminación ambiental, han planteado algunas divergencias: desde los criterios técnicos aplicados para determinar la calidad del aire, hasta las políticas y acciones de control. En 1992 se conforma la Comisión Metropolitana para la Prevención y el Control de la Contaminación de la Ciudad de México; la cual está integrada por 8 secretarías de Estado, además de otras dependencias del Ejecutivo el DDF y el Gobierno del Estado de México así como un consejo técnico asesor constituido por expertos, legisladores y ambientalistas presidido por un secretario técnico. En 1996 dentro de los objetivos del Programa de Medio Ambiente 1995-2000, se instituye el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000, siendo las dependencias responsables el Departamento del Distrito Federal, el Gobierno del Estado de México, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca y Secretaría de Salud. A partir de este momento la Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México, se reestructura conformando lo que actualmente se reconoce como la Comisión Ambiental Metropolitana. En síntesis, más de 25 años de legislación sobre la contaminación de la ciudad de México muestra que la simple emisión y existencia de leyes, reglamentos y normas no bastan, se requiere una infraestructura de la administración pública cuantitativa y cualitativa superior a la actual. En función de las transformaciones que tuvieron tanto las Normas Técnicas Ecológicas (NTE) como las Normas Técnicas Sanitarias (NTS), con base en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización del uno de julio de 1992, actualmente se cuenta con Normas Oficiales Mexicanas separadas en ecológicas, de contaminación atmosférica, ruido y salud, las cuales totalizan 51 normas relacionadas con la contaminación atmosférica. (SEDESOL-INE, 1994). Existen dos normas oficiales mexicanas que se refieren específicamente al monitoreo, método de determinación, calibración y operación de equipos de medición de ozono así como las normas de calidad del aire correspondientes, los cuales están vigentes a partir de 1994:

- Norma Oficial Mexicana NOM-036-ECOL-1993, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Anexo No.3.

- Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA-1993, en la que se establecen las normas de calidad del aire y el criterio para evaluar la calidad el aire ambiente para ozono. Estas normas se encuentran ampliamente detalladas en el Anexo No.4.

## Capítulo III.

# Estado ambiental que guarda la contaminación atmosférica por ozono en la ZMCM.

### 3.1. Caracterización de la problemática.

La contaminación atmosférica por ozono se encuentra entre los problemas más serios que enfrenta nuestro mundo moderno. En la ZMCM ésta debe de ser una de las prioridades más urgentes, ya que afecta la calidad de vida de los más de 18 millones de habitantes como a los ecosistemas donde se encuentra localizada. El problema de la contaminación atmosférica, en particular por ozono, no se ha abatido ha pesar de las medidas tomadas por las autoridades ambientales correspondientes.

El problema es difícil de definir, dada la complejidad del conflicto existente en la Ciudad de México, que aumenta al ritmo de su crecimiento y una política ambiental mal aplicada. La ciudad estaba experimentando a fines de los años ochenta, lo que en otras ciudades había ocurrido cuando sus habitantes y las industrias localizadas en ellas se adaptaban a nuevas leyes y normas ambientales. Es decir, bajo este esquema de política ambiental en la ZMCM se induce el abatimiento de los contaminantes más fáciles de controlar, lo cual provocó que otros contaminantes se incrementaran (como el Ozono). De igual manera, la complejidad de la problemática hace posible que tanto los científicos como los tomadores de decisiones con conocimiento del conflicto puedan predecir con precisión los efectos de las nuevas políticas de control sobre la base de la prueba y error, utilizando las herramientas disponibles hasta el momento. La opción es buscar una herramienta de vanguardia que permita analizar el efecto real asociado con cada una de las acciones propuestas, puestas en marcha, individual o simultáneamente. El dilema plantea tener una solución integral para revertir las tendencias de contaminantes pertinaces y exige un esfuerzo combinado de todos los sectores involucrados, ya sea por parte de las autoridades paraestatales, la iniciativa privada, la comunidad científica, y los tomadores de decisiones así como la sociedad civil. El tratar de entender que en la Ciudad de México se concentran las instituciones gubernamentales del país, así como gran parte de sus recursos, hace que estos factores combinados con un acelerado crecimiento una política ambiental inadecuada durante los últimos cuarenta años y una modernización e industrialización constantes hacen que el conflicto de la contaminación del aire se intensifique.

El problema de la calidad del aire más severo en la ZMCM lo constituye el ozono. El ozono se forma en la atmósfera por medio de reacciones fotoquímicas complejas. Estas involucran la interacción de la componente ultravioleta de la luz solar con contaminantes atmosféricos precursores de ozono.

Desde otra perspectiva, más de la mitad de la industria del país, cerca de 15,000 establecimientos, se asienta en la ZMCM, de los cuales 4000 contribuyen significativamente a la emisión de contaminantes, tanto por su tamaño como por el tipo de procesos de transformación y combustión, destacando las ramas química, de la fundición, textil, minera, hulera, papelera, alimenticia, vidriera, de plástico, metal-mecánica, asfalto, de grasas, aceites y cementeras.

Imaginemos una metrópoli con tres veces la densidad poblacional de Filadelfia en los Estados Unidos, los congestionamientos de tráfico de la Ciudad de Nueva York, combinada con el número de vehículos a diesel de un centro de distribución como Chicago, una industria petroquímica similar a la existente en Houston y la actividad gubernamental de Washington, D.C., el único lugar en la tierra que podría contener tantas actividades es la ZMCM (IMP-Laboratorio Nacional de Los Alamos, 1992), adicionando a los anterior gasolinas no adecuadas para su uso en esta área.

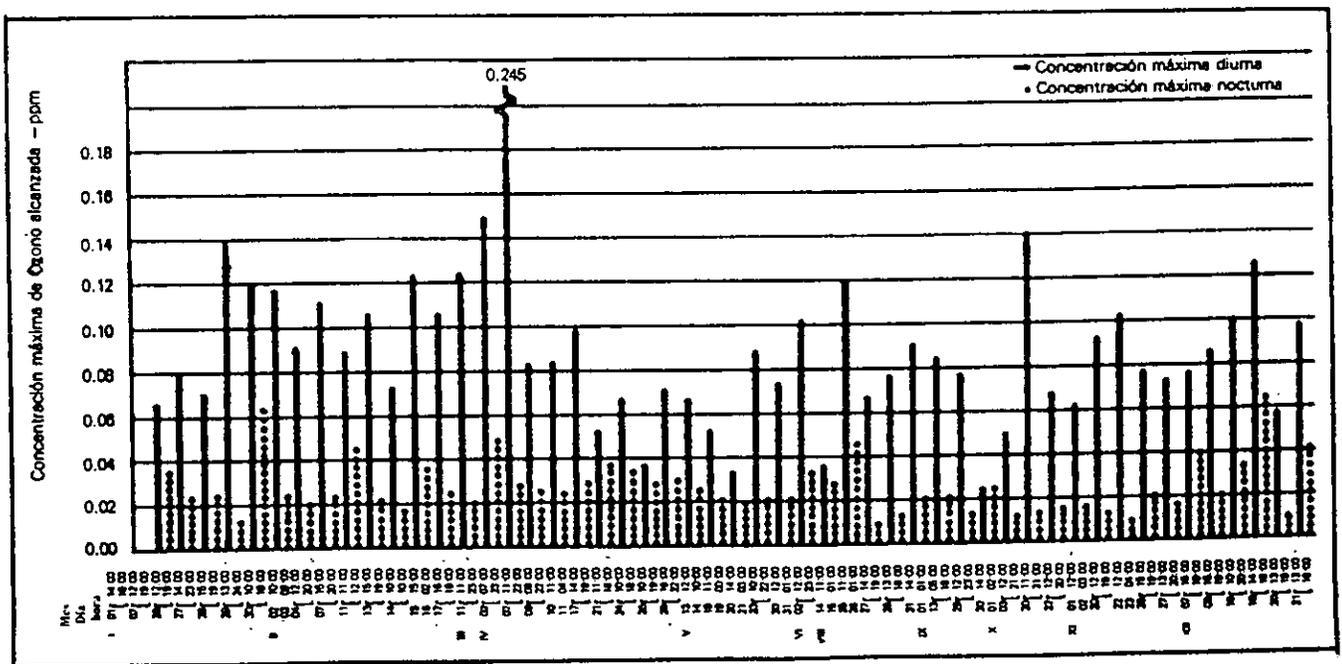
Para poder determinar la gravedad de la situación de la calidad del aire en la ZMCM, habría que señalar y adicionar más información. La ZMCM representa menos de una milésima porción del territorio nacional. Una quinta parte de los habitantes de México radican en la misma, tres quintas partes de los automóviles del país circulan en ella y el promedio del consumo de energía por unidad de área es de 150 veces mayor que el resto del país. En promedio se efectúan 29.5 millones de viajes al día de la siguiente manera: 39% en vehículos particulares, 5.6% de taxis, 20% en combis y microbuses, 16.3% en Metro, 17.8% en autobuses urbanos y suburbanos y el 1.3% en trolebuses y el tren ligero y una gasolina cuya composición no es adecuada para su uso en esta área. Alrededor del 40% del producto interno bruto se genera en esta zona. Esta combinación del uso de recursos trae como consecuencia la liberación de 11,700 toneladas de contaminantes cada día; es decir, 4.35 millones de toneladas al año. Estos factores, contribuyen al deterioro de la calidad del aire. Esta concentración presenta un consumo de energía correspondiente al 17% de la producción nacional en 1995.

### 3.2. La contaminación atmosférica por ozono en la ZMCM, 1984-1996.

La contaminación por ozono y productos oxidantes cobró importancia en 1946 y se le denominó inicialmente como "Los Angeles Smog", y en la actualidad se ha convertido en un problema ambiental en varias ciudades del mundo, entre ellas la Ciudad de México, caracterizándose por presentar una intensidad muy frecuente de radiación solar y generar durante todo el año altas emisiones de vehículos automotores que utilizan gasolina no adecuada para controlar su reactividad en la atmósfera de la ZMCM (fuentes móviles de compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno). Se ha demostrado que con el incremento de tráfico vehicular y un mayor uso de la gasolina inadecuada, aumenta la generación de ozono (Bravo, 1969).

En el año de 1960 se reportaron por primera vez las concentraciones de ozono en el área de la Ciudad Universitaria de la Ciudad de México, encontrándose un valor máximo de 0.04ppm, indicativo de concentraciones bajas de este contaminante en la Ciudad de México, asimismo se registró un promedio de 0.09ppm de dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ). Fig. 3.1 y Tabla 3.1.

Fig. 3.1 Concentraciones máximas diurnas y nocturnas de ozono en C.U., 1964.



Fuente: Bravo, A.H., Torres J. R. (1985)

Tabla 3.1 Concentraciones de ozono en partes por millón (ppm) en la Ciudad de México.

Año ppm O <sub>3</sub> Area	Promedio anual	Valor horario máximo
1959	0.01	0.04
Cd. Universitaria	0.05	0.10
1972	0.04	0.18
1973	0.05	0.16
1975	0.04	0.20
1976	0.04	0.12
(2 meses)		
1976		
N.W.	0.05	0.09
S.E.	0.02	0.08
S.W.	0.05	0.10
Centro		
1977	0.06	0.13
S.W.	0.06	0.19
Centro		
1978		
S.W.	0.05	0.14
Centro	0.10	0.22

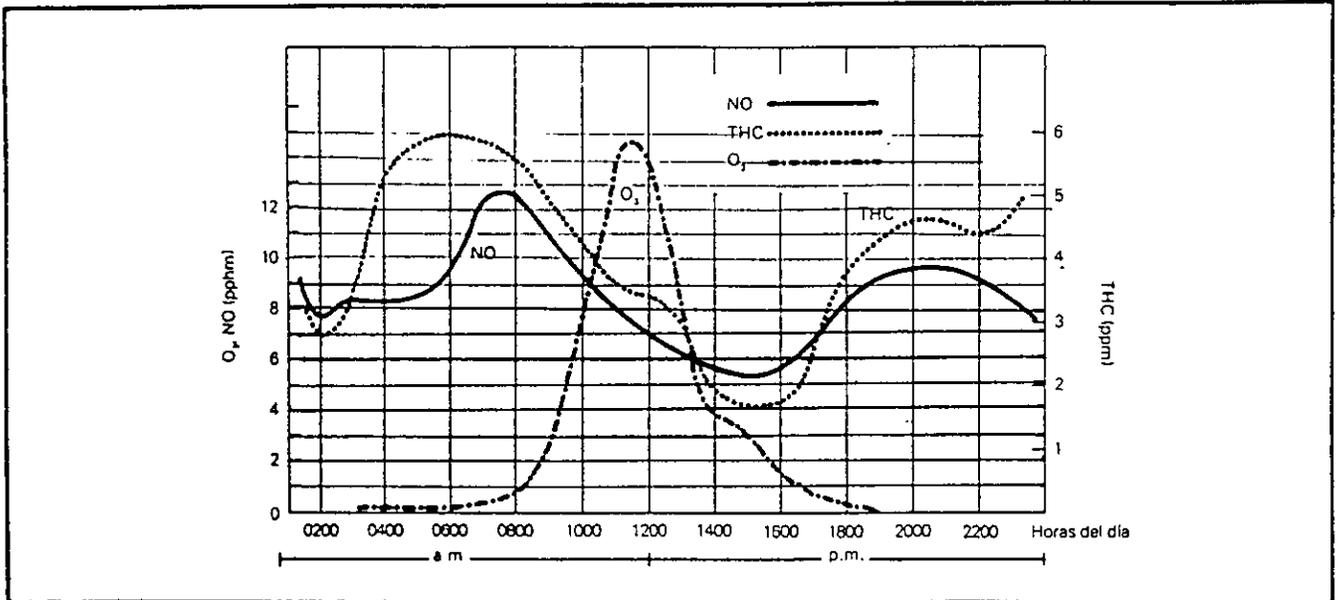
Fuente Bravo, A.H. (1978)

El ciclo de ozono en la Ciudad de México fue determinado durante el período comprendido de Agosto a Diciembre de 1978, cuando se llevó a cabo el monitoreo de ozono y sus precursores (hidrocarburos y óxidos de nitrógeno) en dos sitios de la Ciudad de México (el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México y en el Centro de la Ciudad (Bellas Artes).

La Figura 3.2., muestra el resultado de dos semanas de mediciones en el Aeropuerto, se observa el incremento de óxido nítrico (NO) y de hidrocarburos (HC) durante las horas del día y una disminución después de las 09:00 horas. Este fenómeno es producto de la reacción fotoquímica sobre estos contaminantes, que da lugar a la aparición e incremento de concentraciones de oxidantes como el ozono (O<sub>3</sub>) el cual alcanza su máximo en esta área alrededor de las 12:00 horas, este mecanismo es apoyado por modelos de dispersión de contaminantes para predecir la dinámica de la calidad del aire tales como el EKMA, el cual es un modelo fotoquímico de trayectoria o de parcela tridimensional, de dispersión, meteorológico y de simulación, el cual es alimentado con información del monitoreo de calidad del aire de una área determinada, lo que plantea escenarios con condiciones termodinámicas de tipo: fotoquímico, de velocidad, de formación y de concentración máxima de oxidantes, este modelo (EKMA) fue desarrollado en la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América y se ha aplicado en las principales ciudades del mundo.

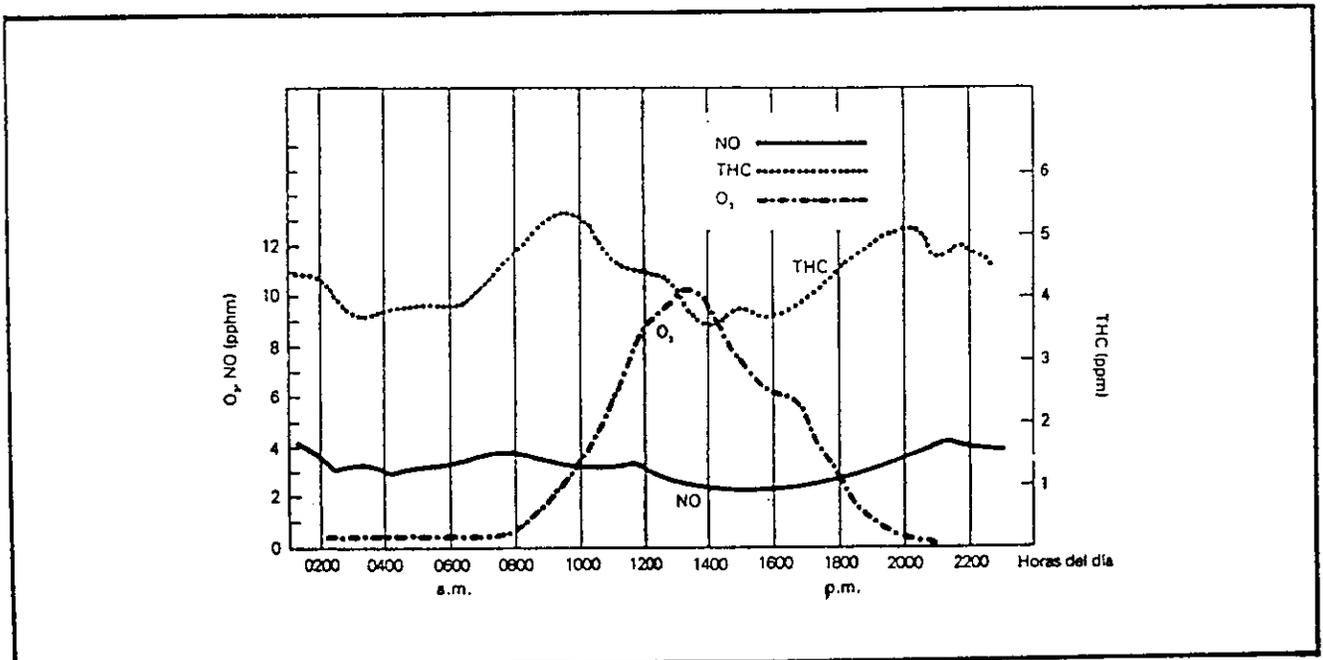
El mismo tipo de muestreo mencionado anteriormente se realizó a un costado de Bellas Artes en el Centro de la Ciudad, utilizando para ello la unidad móvil de monitoreo de la UNAM, en la figura 3.3., se muestra el ciclo de formación de ozono en función de sus precursores (HC y NO). Este ciclo se muestra un poco diferente al anterior en cuanto a que las concentraciones de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno encontradas durante las primeras y últimas horas del día, nos muestran la disminución encontrada en el Aeropuerto, aunque las concentraciones de oxidantes (O<sub>3</sub>) siguen el mismo ciclo. El pico de mayor concentración se observa una hora más tarde (13:00).

Fig. 3.2 Concentraciones promedio de ozono, hidrocarburos totales y óxido nítrico en el aeropuerto internacional de la Ciudad de México.



Fuente: Bravo, A. H. (1978)

Fig. 3.3 Concentraciones de ozono, hidrocarburos y óxido nítrico (2 semanas) en Bellas Artes.



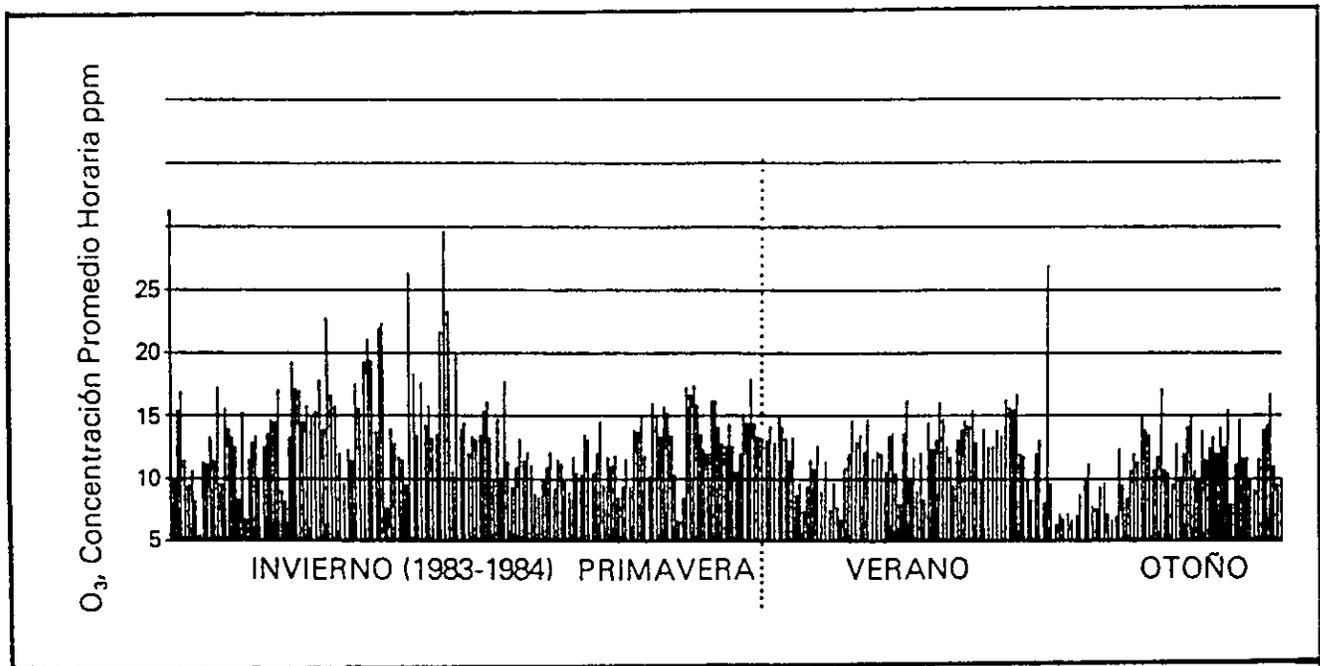
Fuente Bravo, A. H. 1984:

Esto se debe al hecho de que la cantidad de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno emitidos a la atmósfera se ve incrementada al aumento del tránsito en el área central de la Ciudad de México.

En la figura 3.4., se muestran las concentraciones de ozono registradas en diferentes sitios de la Ciudad de México durante el invierno de 1983-1984, se observa que en el total de los días monitoreados se ha detectado el ozono, el 25% de estos días presentaron concentraciones de ozono arriba de la norma de calidad del aire para este contaminante (0.11 ppm), es aquí donde se empieza a llamar la atención sobre la presencia diaria de este contaminante en la Ciudad de México.

Otro fenómeno que es importante mencionar, son los eventos nocturnos que se han registrado en la estación de monitoreo de la Ciudad Universitaria, dentro del ciclo diario invernal de ozono (fig.3.4.), este fenómeno se puede generar por cualquiera de las siguientes condiciones:

**Fig. 3.4 Concentraciones de ozono por día (invierno, 1983 y 1984).**



**Fuente: Bravo, A.H.**

- Fuerte inversión del gradiente térmico en las primeras horas del día (6:00 horas).
- Débil gradiente vertical térmico en la tarde (18:00 horas, tiempo real).
- La concentración máxima de ozono fue seguida por una concentración igual o ligeramente menor que el máximo, por un mínimo de dos horas.
- Baja velocidad del viento (0.05 m/seg).
- Vientos dominantes de la zona norte de la ciudad.
- Vientos de la zona sur durante la noche.
- Presencia de los vientos de ladera o catabáticos con velocidad variable.

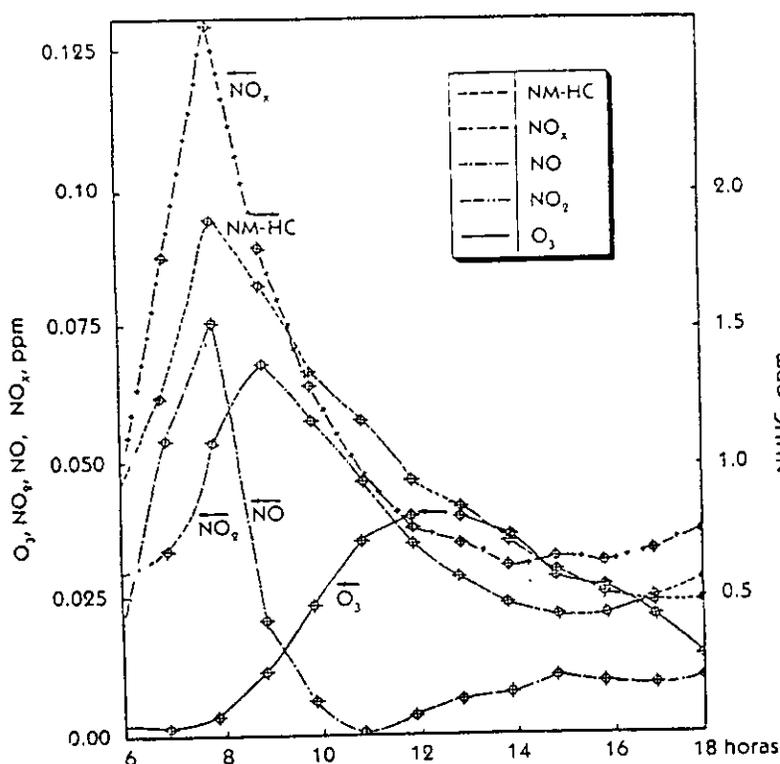
De nuevo en esta figura, se observa que el promedio estacional de las concentraciones de ozono registradas son elevadas durante el invierno, descendiendo durante la primavera, teniendo su valor de más bajo nivel en el verano y elevándose nuevamente en el otoño manteniendo esta tendencia de crecimiento durante el invierno. Este ciclo estacional de las concentraciones de ozono, se cumplió en 1986, con una alteración notable en lo relativo al número de violaciones a su norma de calidad (0.11ppm); ya que a partir de la disminución del contenido de plomo en las gasolinas se han detectado muy altas concentraciones de ozono en la estación de monitoreo de la Ciudad Universitaria, UNAM, ubicada en la zona Suroeste (SW) de la Ciudad de México. Las concentraciones de ozono que se registraron son mayores de 0.3 ppm con una duración hasta de cinco horas al día y con un número de 16 días como promedio mensual (septiembre 1986-enero 1987) y con exceso de la norma de calidad del aire de (0.1ppm), y un máximo número de 24 días en octubre de 1986. En la Figura 3.5., se señala que el promedio mensual de las concentraciones máximas horarias también muestran un claro incremento a partir del mes de septiembre de 1986.

**Fig. 3.5 Anomalías en las concentraciones de ozono a partir de septiembre de 1986.**

Promedio mensual de concentraciones de ozono maximas	Mes/Año	Numero de violaciones a la norma por mes
0.077ppm	Ene-84	4
0.1ppm	Feb-84	10
0.122ppm	Mar-84	5
0.067ppm	Abr-84	1
0.072ppm	May-84	2
0.056ppm	Jun-84	4
0.057ppm	Jul-84	0
0.079ppm	Ago-84	2
0.045ppm	Sep-84	1
0.075ppm	Oct-84	1
0.072ppm	Nov-84	1
0.087ppm	Dic-84	7
0.053ppm	Ene-85	0
0.062ppm	Feb-85	1
0.051ppm	Mar-85	0
0.062ppm	Abr-85	0
0.054ppm	May-85	0
0.068ppm	Jun-85	0
0.067ppm	Jul-85	0
0.066ppm	Ago-85	1
0.063ppm	Sep-85	0
0.077ppm	Oct-85	3
0.078ppm	Nov-85	2
0.087ppm	Dic-85	2
0.071ppm	Ene-86	0
0.058ppm	Feb-86	0
0.054ppm	Mar-86	0
0.063ppm	Abr-86	0
0.064ppm	May-86	0
0.058ppm	Jun-86	0
0.042ppm	Jul-86	0
0.072ppm	Ago-86	0
0.144ppm	Sep-86	11
0.188ppm	Oct-86	25
0.119ppm	Nov-86	15
0.124ppm	Dic-86	14
0.138ppm	Ene-87	15

La hipótesis más probable es que este incremento señalado después de la disminución de la concentración de plomo en la gasolina, sea debido a un incremento de precursores de oxidantes en la atmósfera (Bravo, 1987). Se ha observado que los óxidos de nitrógeno representan la adición del bióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) y óxido nítrico ( $\text{NO}$ ) presentes en la atmósfera. Las concentraciones de bióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) observadas en la Ciudad de México son consistentemente más bajas que las observadas para óxido nítrico ( $\text{NO}$ ). La variación diaria típica para el mes de marzo de 1985, se puede observar en la figura 3.6. La media aritmética de concentraciones de los óxidos de nitrógeno en el área de la Ciudad de México para el año de 1985 fue de 0.14ppm, (de las 6 a las 9 horas), con un valor máximo de 0.22ppm.

**Fig. 3.6 Concentración promedio horario mensual de  $\text{O}_3$ , NMHC,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$  en la estación de monitoreo del Centro de Ciencias de la Atmósfera durante el mes de marzo de 1985.**

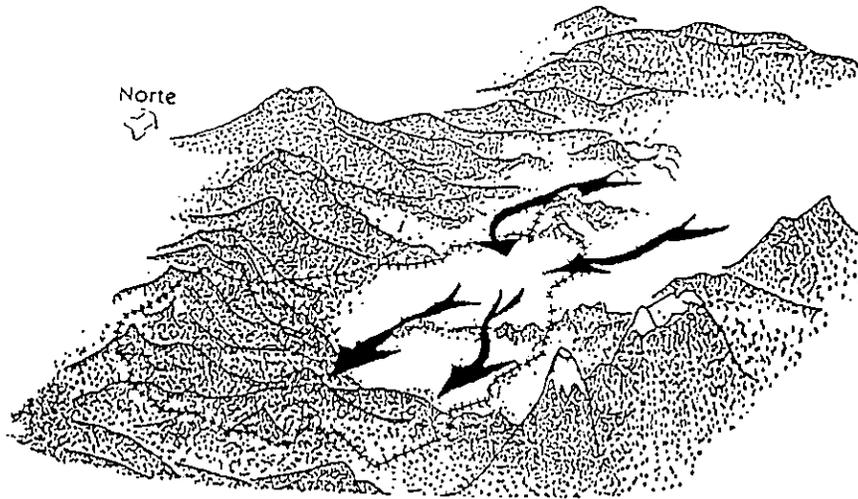


**Fuente: Sección de Contaminación Ambiental, CCA-UNAM**

Lo anterior ha demostrado que la velocidad de formación y las concentraciones máximas de oxidantes, es un problema complejo en el que participan compuestos como hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y factores tales como la radiación solar y la temperatura.

Como consecuencia del transporte por vientos de la masa de contaminantes emitidos en la parte Norte y Centro de la ZMCM y la radiación que recibe esta masa ( $\text{NO}_x$ , NMHC,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ , partículas entre otros), se genera ozono y otros oxidantes fotoquímicos como el peroxyacetil nitrato (PAN), los cuales son arrastrados a la parte sur de la Cuenca de la Ciudad (fig. 3.7.), registrándose en la estación de monitoreo de Ciudad Universitaria niveles altos de ozono que hacen que esta zona presente una calidad de aire mala, la mayor parte del tiempo. Esta producción de ozono es altamente dependiente de la radiación solar disponible. Mientras más cerca se esté del Ecuador, mayor será el potencial de energía recibida. (U.S. Department of Health, 1970; Bravo, et-al, 1987).

**Fig. 3.7 Cuenca atmosférica del Valle de México y el patrón regular del flujo de viento dominante**



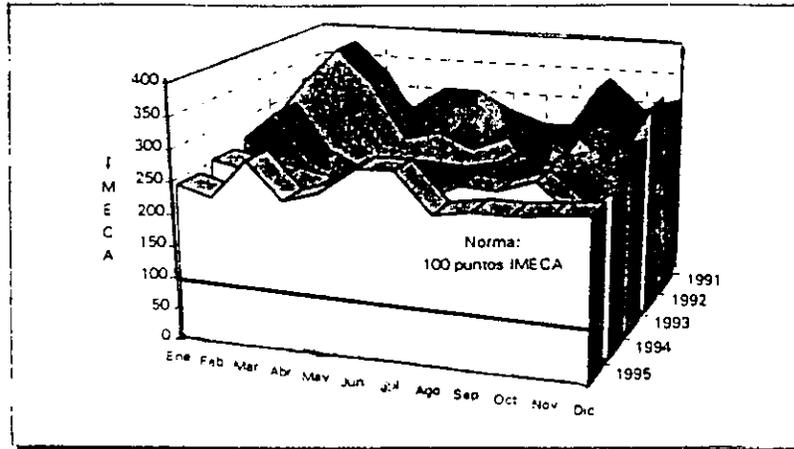
Desde mediados de la década de los ochenta se presentan los primeros estudios que demuestran que el ozono es transportado al sur, esta situación ambiental ha afectando fitopatológicamente a los cultivos de hortalizas en Xochimilco y a las comunidades de bosque de pino ubicados a una altitud de 3000-3500 metros sobre el nivel del mar; las especies de coníferas (*Pinus hartwegii*, *P. moctezumae* y *Abies religiosa*) del Ajusco y el Desierto de los Leones, han presentando un daño crónico avanzado asociado a una gran mortandad, como consecuencia del efecto sinérgico de factores ambientales tales como altos niveles de ozono, enfermedades y plagas (Bauer, et.al., 1985, Bravo, et.al. 1986).

Los niveles registrados en la Ciudad Universitaria de 1984 a 1987 se han elevado en un factor desproporcionado y que casualmente coincidió con la introducción de una nueva gasolina denominada "Nova-Plus", elaborada para su consumo en la ZMCM. Existen evidencias de que los hidrocarburos no quemados o quemados parcialmente en los motores de combustión que son emitidos a la atmósfera por los automóviles que utilizaron esta gasolina (Nova-Plus), favorecen en gran proporción en la formación de ozono (Ver figura 3.5), estos niveles de ozono registrados en la Ciudad Universitaria no son los máximos de la ZMCM; ya que el transporte diurno de masas de aire (8:00-14:00horas) típico de la cuenca del Valle de México arrastra esta masa de contaminantes hacia la zona boscosa del Sur: Xochimilco, el Ajusco y el Desierto de los Leones.

De acuerdo con análisis estadísticos recientes elaborados por la RAMA para la propuesta del Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 (DDF, 1996), en los últimos 3 años (92-95), los niveles de este contaminante han mostrado una cierta tendencia a estabilizarse, situación contraria al incremento generalizado que se registró en la mayor parte de la Ciudad entre 1986 y 1991. No obstante, las concentraciones de ozono superan frecuentemente la norma de calidad del aire, alcanzando niveles que superan en más de un 100% el límite establecido.

Como se aprecia en la figura 3.8., las concentraciones de ozono alcanzaron en 1992 los niveles más críticos registrados hasta ahora, cuando se tuvieron 11 días por encima de 300 puntos IMECA (más de tres veces la norma) y se alcanzaron valores de hasta 398 IMECA. A partir de entonces, los niveles máximos de este contaminante han tenido a disminuir, en 1994 y 1995 no se registraron niveles mayores a 300 IMECA.

Fig. 3.8 Ozono. Máximos mensuales en la ZMCM.



Fuente DDF-1995.

La frecuencia y severidad de contingencias atmosféricas ha mostrado también una tendencia a disminuir, pero incrementándose el área dentro de la ZMCM que se ve afectada diariamente por concentraciones de ozono que sobrepasan la Norma de Calidad de este contaminante. Sin embargo, la ciudad y sus habitantes seguimos sufriendo en nuestra salud y en el entorpecimiento de nuestras actividades cotidianas, los efectos indeseables asociados con niveles de ozono superiores a 250 IMECA (que determinan la activación de la Fase I del Programa de Contingencias Ambientales). En 1991 se alcanzó un máximo histórico de 56 días con concentraciones superiores a este nivel. En 1994 y 1995 todavía se alcanzaron 4 y 6 días respectivamente Tabla 3.2

**Tabla 3.2 Número de días con valores IMECA de ozono superiores a los 100, 200, 250 y 300 puntos (1988-1995).**

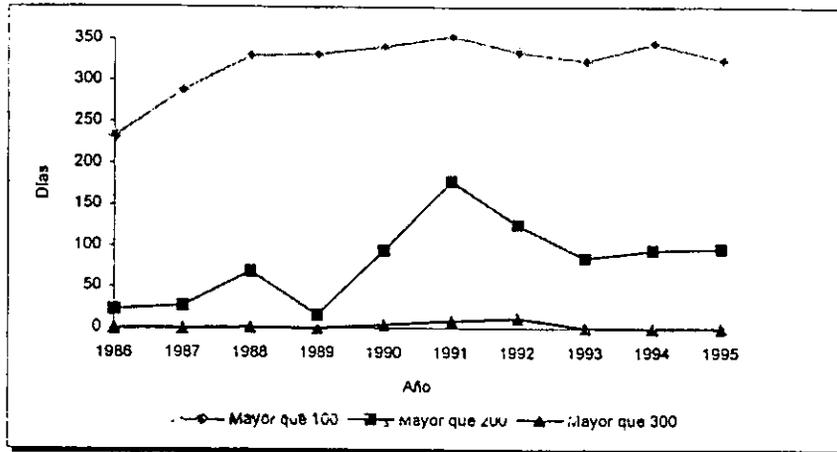
Año	Mayor que 100	Mayor que 200	Mayor que 250	Mayor Que 300
1988	329	67	11	1
1989	329	15	3	0
1990	328	84	27	3
1991	353	173	56	8
1992	333	123	37	11
1993	324	80	14	1
1994	344	88	6	0
1995	324	88	6	0

Fuente RAMA-DDF.

La zona noreste de la ciudad mostró una tendencia ascendente en las concentraciones de ozono a partir de 1987, en el que éstas se encontraban cerca de la norma de calidad del aire. En 1992 se presentaron los niveles más elevados de ozono al registrarse 11 días que superaron los 300 IMECA. Comparativamente, durante 1991 el ozono alcanzó en tres ocasiones un nivel mayor a 300 IMECA. Asimismo, el centro de la ciudad registra altos niveles de ozono en la atmósfera. Desde 1988 ya se presentaban valores superiores a 200 IMECA siendo 1991 el año más crítico en esta zona.

La estación Pedregal, representativa de la zona suroeste de la ZMCM, es la que históricamente ha registrado las concentraciones más elevadas de ozono, con niveles persistentemente altos que presentan un comportamiento relativamente estable. Fig. 3.9. (Cicero, 1995).

**Fig. 3.9 Comportamiento de las concentraciones máximas diarias de ozono en la ZMCM (1986-1995).**



Fuente: RAMA-DDF.

Los análisis estadísticos demuestran que la frecuencia de las concentraciones de ozono tiende a aproximarse a una distribución normal. Este hecho estadístico es fundamental en el diseño de la estrategia para elevar la calidad del aire de la ZMCM. Con base en ello, el propósito fundamental de la estrategia es reducir la media de distribución hacia valores más bajos (desplazamiento hacia la izquierda) de tal forma que los valores máximos y la frecuencia de incumplimiento de las normas establecidas se reduzca. Consistentemente, se busca incrementar el número de días con bajos niveles de ozono.

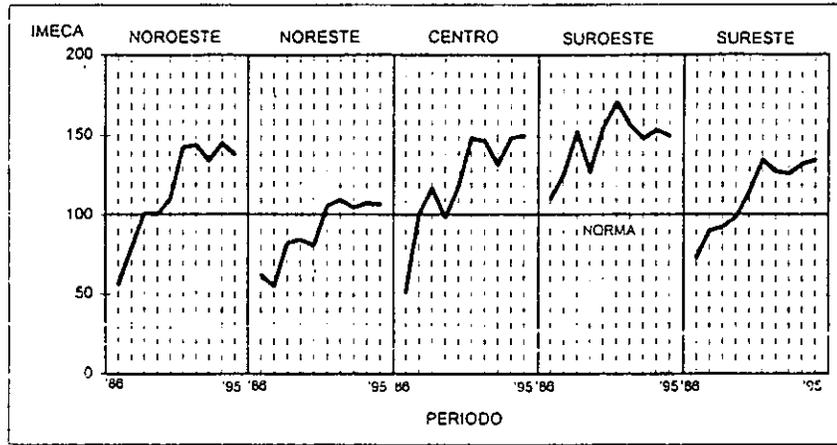
La evolución de los niveles de ozono es el resultado de la interacción de un conjunto de factores en donde destacan el comportamiento de sus precursores y la evolución del clima. Parece existir también una relación con la evolución económica de la ZMCM y por tanto con el nivel de actividad económica y con la magnitud y composición del parque vehicular y las gasolinas.

El análisis del comportamiento de los niveles de ozono IMECA indica que sus niveles promedio se han modificado a lo largo del período.

En conjunto, los promedios siguen un comportamiento cíclico alcanzando los puntos más altos en 1991-1992 y 1992-1993. Este comportamiento cíclico se observa en la Tabla 3.3., en donde se observa que la media del índice entre 1992 y 1989 fue de 171 mientras que de 1989 a 1992 se elevó de 174 y de 1989 a 1992 se redujo a 170.

Este comportamiento responde a la interacción de un conjunto de factores en donde destacan los precursores de ozono y otros contaminantes, los cambios meteorológicos e incluso factores estacionales, así como en variaciones en la actividad económica. Investigaciones recientes indican que el comportamiento del ozono depende en un 30% de las fluctuaciones meteorológicas y en un 70% de los cambios de las emisiones contaminantes y de la actividad económica, entre otras variables (DDF, 1996).

**Fig. 3.10 Número de días con lecturas IMECA superiores a los 100, 200 y 300 puntos durante 1986-1995.**



Fuente: INE, con datos de la RAMA, -DDF.

**Tabla 3.3. Promedio IMECA anual (valores máximos).**

Año	Promedio	Desviación Estándar
1988	160.95	45.97
1989	141.22	35.27
1990	170.97	50.27
1991	191.77	53.48
1992	180.55	59.32
1993	164.30	49.88
1994	173.06	40.62
1995	170.04	46.72
1996	194.29	47.39

#### Medias IMECA

Periodo	Promedio	Desviación estándar
1988-30jun89	171.96	43.14
30jun89-1may92	174.38	55.32
1may92-ene96	170.81	41.84

Con datos de la RAMA-DDF.

### 3.3 El origen del conflicto.

El origen de este conflicto se inició con la decisión técnica de elaboración de gasolinas para consumo en la Ciudad de México. Con el objeto de determinar la eficiencia de los motores de gasolina se tiene una relación directa con el índice de octano; si el índice es bajo, se dice que hay menos eficiencia y entonces se presenta en los motores una serie de explosiones particulares que se le denomina "golpeteo". Por el contrario una gasolina con alto índice de octano, evita el "golpeteo" y aumenta la eficiencia. El método para elevar el índice de octano en los pasados setenta años fue:

- a) Una apropiada selección de la mezcla de hidrocarburos en la gasolina y
- b) por adición de tetraetilo de plomo.

Aún en estas condiciones del combustible con plomo, los motores descargan a la atmósfera compuestos contaminantes o precursores de ellos como hidrocarburos no quemados en su totalidad, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas de plomo, además de los productores normales de la combustión: bióxido de carbono y agua.

La eliminación de tetraetilo de plomo en una gasolina lleva consigo una reducción en el índice de octano y por consiguiente también en la eficiencia del motor. En esta situación sólo quedan dos alternativas viables:

- a) reducir el factor de compresión en los motores de los automóviles nuevos y
- b) aumentar el índice de octano por cambios en su formulación de hidrocarburos aromáticos, olefinas

En México se ha reportado un índice de octano alto en la gasolina Plus (con un contenido de tetraetilo de plomo entre 0.5 y 1.0 ml/gal), misma que presentó un contenido mucho menor de plomo que la gasolina anterior (NOVA) (IMP, 1987). Técnicamente esto fue factible adicionando aromáticos. Por otro lado se conoce que el uso de gasolinas con bajo contenido de plomo pero mejoradas con aromáticos e hidrocarburos (olefinas), utilizadas en vehículos sin convertidor catalítico, incluyen una nueva serie adicional de subproductos de combustión considerados como hidrocarburos reactivos precursores (HCR) de ozono.

Se puede señalar que los siguientes compuestos gaseosos emitidos por estos vehículos presentan un potencial importante en la formación de oxidantes fotoquímicos: etileno, propileno, tolueno y m-xileno. La proporción en que se encuentran en los productos de combustión dependerá de la formulación de la gasolina. Una forma indirecta pero eficaz de controlar la formación de ozono, es con el control de la emisión de sus precursores.

Es a partir de 1986 con la reducción de tetraetilo de plomo, como una medida para reducir la contaminación atmosférica por plomo en la Ciudad de México, se presentó un sensible incremento en las concentraciones de ozono. En C.U. se registraron valores máximos de ozono de hasta 0.3ppm. En la RAMA, de la entonces SEDUE se registraron concentraciones de hasta 0.4ppm en la estación El Pedregal, ambos sitios se encuentran ubicados en el sur de la Ciudad. Asimismo, el número de violaciones a la norma de calidad del aire para ozono se incrementó notablemente a partir del mes de septiembre de 1986 encontrándose un promedio de 16 violaciones por mes en el período septiembre 1986 a enero de 1987, comparada con el mismo período para los años 1984 y 1985, con un promedio de dos violaciones por mes. Estas anomalías en las concentraciones de ozono y en el comportamiento de este contaminante en el período 1984-1987 indicaban la existencia de un factor externo que se introdujo en el sistema atmosférico de la ZMC, la cual supone posiblemente la composición de las gasolinas.

Es importante y significativo el transporte atmosférico de contaminantes en la Ciudad de México que, durante la noche, cuando la acción de los vientos catabáticos acarrea a la superficie de la cuenca la masa de aire que ha sido arrastrada durante el día a las montañas del sur, a las partes bajas de la ciudad, lo anterior ha generado que se registren niveles nocturnos de ozono, hecho completamente ajeno al ciclo fotoquímico (Bravo y Torres, 1984).

El 14 de febrero de 1986, se publica en el Diario Oficial de la Federación un decreto, en el cual se dan a conocer 21 medidas, cuya aplicación tiene como finalidad mejorar la calidad del ambiente en la Ciudad de México. De las cuales es importante destacar dos de ellas, la medida No. 17 la cual tiene como objetivo el abastecer de gasolina con bajo contenido de plomo a la ZMCM, y la medida No. 18 misma que se presenta en el mismo contexto y contempla incluir aditivos premezclados en

las gasolinas. Para el 31 de agosto de 1986 el avance de estas acciones fue del 100% (SEDUE, 1986). La nueva gasolina producida (Nova-Plus) tiene un contenido de tetraetilo de plomo de 0.64 ml/galón (IMP, 1987). La reducción del contenido de plomo en las gasolinas nacionales ha sido progresiva según los reportes de PEMEX, ya que la gasolina Nova de 1973 a 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, 1986), hasta alcanzar la reducción en el año de 1986 de 0.64 ml/galón.

La reducción rápida de plomo en la gasolina como antidetonante requiere incorporar hidrocarburos aromáticos, olefinicos, y oxigenados como el metil-terbutil-eter (MTBE) y otros para compensar tal reducción. Esta adición de hidrocarburos reactivos hace que tanto los evaporados como los productos de combustión junto con los óxidos de nitrógeno puedan incrementarse en la operación de motores de combustión interna por deficiencia de octanaje, siendo ambos (NMHC y  $\text{NO}_x$ ) los precursores ideales para que con la luz solar se intensifique la producción de ozono en la atmósfera. (Altshuller, 1972).

La reducción del contenido de tetraetilo de plomo en la gasolina trajo como consecuencia un efecto positivo en la calidad del aire en lo referente al plomo. Mientras que por otra parte el cambio en la composición de la gasolina dio como resultado un incremento en las concentraciones de ozono, que aumento en el número de días con eventos y un mayor número de horas por día en que se rebasa su norma de calidad del aire.

Integrando este aumento en los niveles de ozono se concluye que la exposición de los habitantes de la ZMCM representa un riesgo potencial a la salud. Por lo tanto es necesario considerar con la seriedad adecuada, las modificaciones a la composición de la gasolina. Con lo anterior se establece que es importante apoyar la estrategia del uso de gasolina con el mínimo contenido de plomo para vehículos anteriores a 1991, siempre y cuando se cumple con el uso de convertidores catalíticos en los vehículos automotores del año 1992 a la fecha y el uso en los mismos de gasolinas sin plomo.

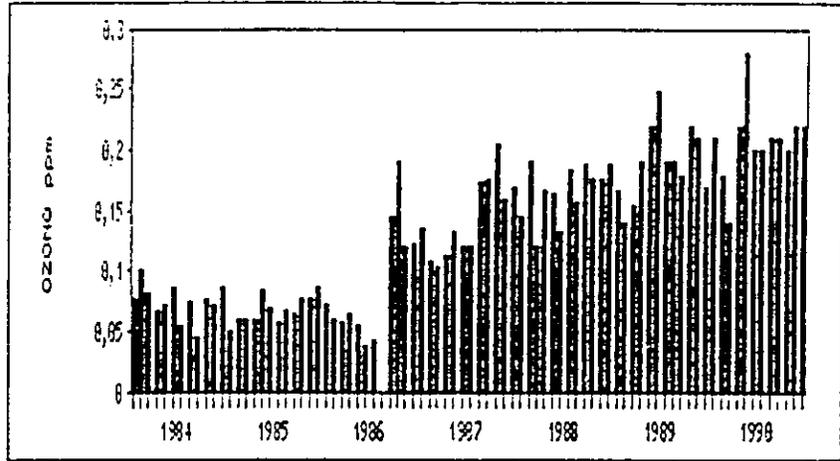
Esta medida dio como efecto secundario un sensible aumento en las concentraciones de ozono. Para esta época en la Ciudad Universitaria se han registrado valores máximos de ozono de hasta 0.35ppm, y se observa que a partir del mes de septiembre de 1986, las concentraciones de ozono se incrementaron con respecto a los años anteriores (Bravo, et. al., 1987; Bravo, et. al., 1988). El valor más alto de las concentraciones máximas de ozono detectadas en el CCA antes de septiembre de 1986 fue de 0.15ppm y el promedio de tales concentraciones fue de 0.063, mientras que después se tuvieron valores de 0.355ppm y 0.147 respectivamente. Como era de esperarse el incremento de las concentraciones de sus precursores NMHC y  $\text{NO}_x$  también se incrementaron.

Las figuras 3.11., 3.12. y 3.13. presentan respectivamente, los promedios mensuales de las concentraciones máximas de ozono, el número de días al mes en que se rebasa su norma de calidad del aire (0.11ppm, promedio horario máximo), y el número de violaciones por mes de dicha norma. El período de tiempo que se analiza en este caso corresponde de enero de 1984 a mayo de 1990.

Desafortunadamente, la decisión de cambiar la gasolina sin un estudio técnico científico apropiado respecto a los requerimientos necesarios para su implementación, y de las posibles consecuencias ambientales esperadas, ha dado como resultado que en la atmósfera de la Ciudad de México se rebasa la Norma de Calidad del Aire para  $\text{O}_3$  durante la mayor parte del tiempo.

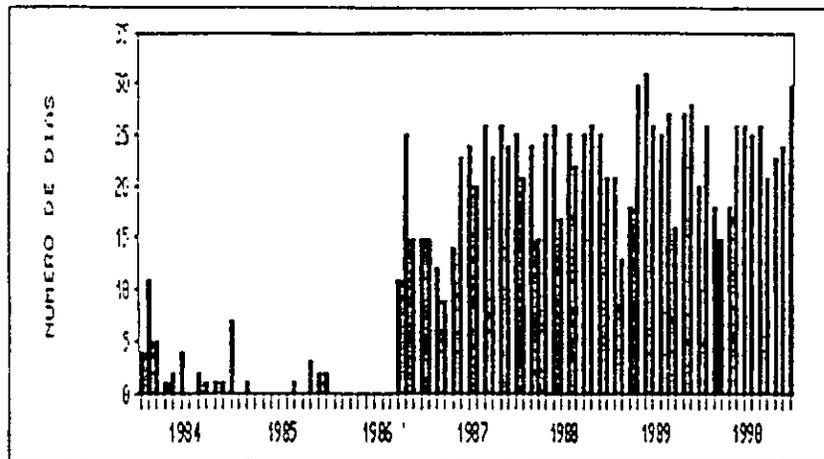
Las tablas 3.4.; 3.5. y 3.6., muestran la gravedad de la situación, siendo importante señalar que la norma de calidad del aire en 1989 en los Estados Unidos es de 0.12ppm promedio horario máximo, no más de una vez al año; en la estación de monitoreo del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la UNAM, se registraron en 1987, 740 horas arriba de la norma mexicana de calidad del aire, incrementándose en 1988 hasta 956 y 1224 violaciones (horas) en 1989.

Fig. 3.11 Promedios mensuales de concentraciones máximas de ozono en la estación del CCA de 1984 a 1990.



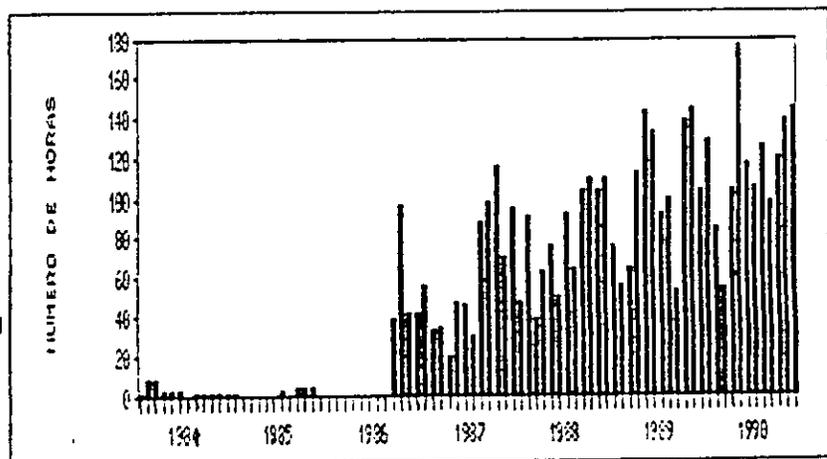
Estación CCA, UNAM

Fig. 3.12 Número de días al mes en que se rebasa la norma de calidad del aire para ozono en la estación del CCA de 1984 a 1990.



Estación CCA, UNAM

Fig. 3.13 Número de violaciones al mes a la norma de calidad del aire para ozono en la estación del CCA de 1984 a 1990



Estación CCA, UNAM

La SEDUE (1991), como se ha mencionado, contaba con una red automática de monitoreo atmosférico, que desde 1986 la cual generaba información poco confiable sobre los niveles de concentración de los principales contaminantes en la ZMCM. A través del comportamiento del ozono monitoreado por la RAMA en el periodo comprendido de 1986 a 1991, la situación de este contaminante es crítica dada su persistencia en el ambiente, así como por la magnitud de las concentraciones que se registraron. En este contaminante en particular las medidas tomadas para su control no cumplieron su objetivo, lo cual deja en descubierto la poca eficacia de las medidas adoptadas para el control del ozono en la ZMCM.

**Tabla. 3.4 Número de excedencias (horas) en las que la concentración de ozono rebasó su norma mexicana de calidad del aire en la estación del Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM durante 1987.**

MES	HORAS																				TOTAL
	AM										PM										
	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	5	4	4	4	2	1				33
MARZO										3	6	8	8	5	2	2	1				35
ABRIL										1	4	5	5	2	2	1					21
MAYO										1	3	12	14	13	5						48
JUNIO										2	6	13	14	8	3						46
JULIO											4	2	11	6	2						21
AGOSTO										3	13	23	22	14	5	3	1				88
SEPTIEMBRE										1	14	21	21	18	12	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	15	16	14	9	2			96
TOTAL										1	17	96	106	169	114	84	54	28	5	2	740

Fuente: CCA-UNAM

**Tabla. 3.5 Número de horas en las que la concentración de ozono rebasó su norma mexicana de calidad del aire en la estación del Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM durante 1988.**

MES	HORAS																				TOTAL
	AM										PM										
	1	2	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					86
SEPTIEMBRE										5	15	21	22	22	13	6	2				104
OCTUBRE										4	12	21	23	21	16	9	4	1			111
NOVIEMBRE										1	8	17	22	22	15	12	7				104
DICIEMBRE										1	5	18	20	20	18	14	8	2			110
TOTAL										44	133	192	189	169	120	70	35	6	1		959

Fuente : CCA-UNAM

**Tabla. 3.6 Número de horas en las que la concentración de ozono rebasó su norma mexicana de calidad del aire en la estación del Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM durante 1989.**

MES	HORA DEL DÍA												TOTAL	
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
ENERO				1	14	16	16	13	6	7	1			77
FEBRERO				5	11	12	11	10	4	3	1			57
MARZO				10	14	10	10	0	0	3	3	1		65
ABRIL			12	22	26	23	16	2	4	2				113
MAYO			16	26	31	26	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				9	13	13	13	7	3					54
OCTUBRE			8	22	25	25	24	19	11	5				139
NOVIEMBRE			3	19	25	24	24	22	18	10				145
DICIEMBRE			1	10	18	19	16	17	10	9	3	1		104
<b>TOTAL</b>		<b>1</b>	<b>63</b>	<b>179</b>	<b>247</b>	<b>236</b>	<b>199</b>	<b>151</b>	<b>90</b>	<b>48</b>	<b>8</b>	<b>2</b>		<b>1224</b>

**Fuente: CCA-UNAM**

Los estudios realizados hasta 1991 en el CCA-UNAM demuestran la dependencia existente entre la formación de ozono y la meteorología, aspecto que no fue reconocido por las autoridades en el momento. Esta dependencia se debe a que la producción fotoquímica no inicia inmediatamente después de que son emitidos los precursores, sino que existe un mezclado y un transporte atmosférico simultáneos al inicio y sostenimiento de todas las posibles reacciones de química atmosférica (Torres, 1991). Esto último explica razonablemente el porque los niveles más importantes de ozono se presentan viento abajo de las principales fuentes de emisión.

Para 1990 el número de excedencias mensuales y anuales presentan una tendencia ascendente tanto por el número de horas al día como de días al año tal como se observa en la fig. 3.14.

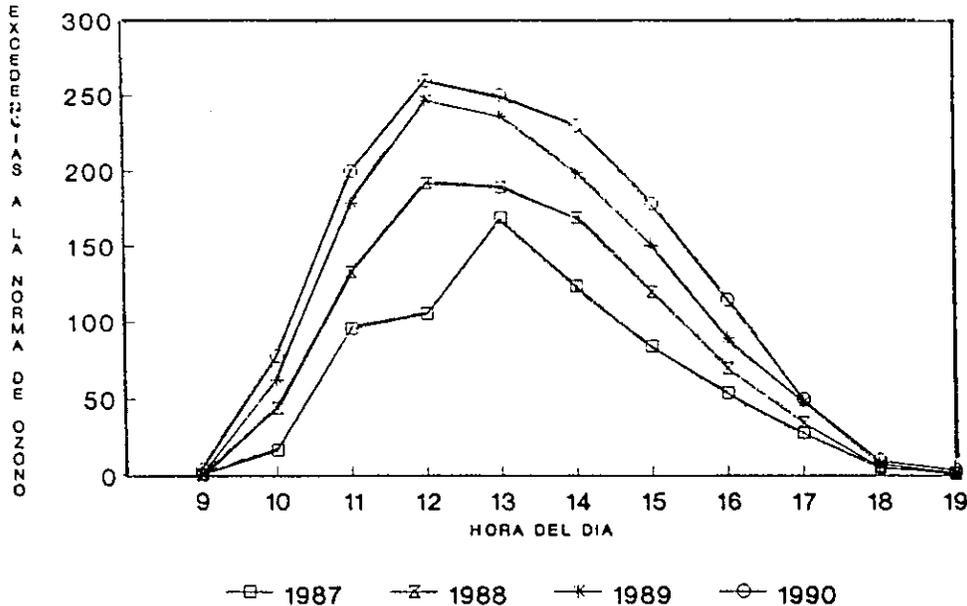
Adicionalmente a los problemas potenciales asociados a los oxidantes, su presencia favorece la ocurrencia de otros problemas de contaminación como: formación de otras especies potencialmente tóxicas, deposición ácida, y degradación de la visibilidad (Bravo, et. al., 1988; Bravo et. al., 1989; Bravo et. al., 1990).

Otra estrategia de PEMEX por reducir los niveles de emisión de CO e hidrocarburos totales (HCT), se introduce a finales de 1988 un aditivo oxigenado, el metil-terbutil-eter (MTBE), a las gasolinas Nova-Plus y Extra mismas que se distribuían en la ZMCM. La justificación técnica del uso del MTBE fue la posible reducción de emisiones de CO y HCT por los escapes de vehículos automotores que no contaban en ese entonces con convertidor catalítico, según la promoción de las compañías extranjeras productoras del aditivo (Bravo, et.al, 1991).

Sin embargo, aún hasta 1990 no había sido autorizado el uso de este combustible en los Estados Unidos, como consecuencia de que no se conocían con certeza que posibles efectos que pueden tener los productos de combustión de este aditivo en la fotoquímica atmosférica de zonas urbanas, a pesar de la virtud de que permite eliminar la totalidad de tetraetilo de plomo como aditivo antidetonante (ARCO, 1989).

Un nuevo problema ambiental surgió de esta acción. Los niveles de ozono a horas antes inusuales como 9:00 a 10:00 h., son para el año de 1991 comunes en la ZMCM, con lo cual incrementó significativamente el número de horas de excedencias a la norma de calidad de aire (Bravo et.al, 1990).

**Fig. 3.14 Número de excedencias a la Norma de calidad del aire para ozono por hora del día y en base anual registradas en la estación del CCA, UNAM (1987-1990).**



**Fuente:** Sección De Contaminación Ambiental CCA-UNAM.

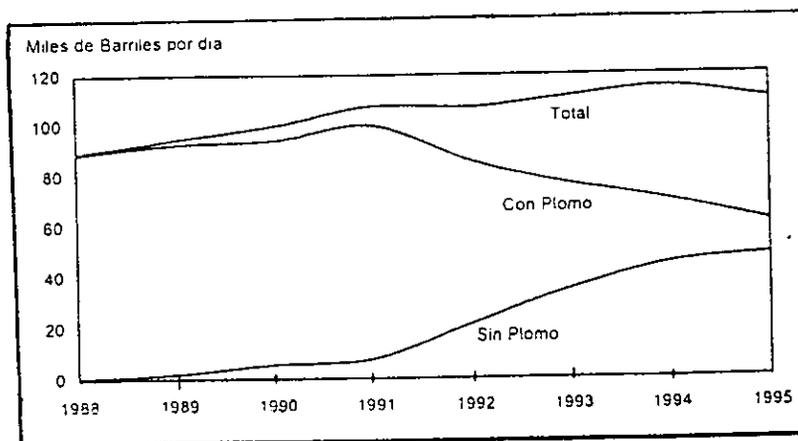
Posteriormente en el otoño de 1989 se implementa un programa para reducir la circulación de vehículos automotores en la Ciudad de México, El programa "Hoy no circula" (HNC), fue concebido como una medida para controlar el consumo de gasolinas, reducir las emisiones vehiculares y promover que la población con auto particular utilizará el transporte público o compartiera su vehículo con vecinos o compañeros de trabajo, dicho programa se inicio como una medida temporal, pero a partir del 20 de Noviembre de 1989 se hizo permanente. Se logró retirar de golpe la circulación de 500 mil vehículos al día y se tuvieron resultados satisfactorios pero considerando la experiencia internacional existente en esa fecha, este tipo de programas sólo ha funcionado para aplicarlos en casos de emergencia o contingencia ambiental y en forma temporal, pero nunca en forma permanente.

El resultado de esta acción ha sido rebasada ya que la disponibilidad de los automovilistas para cambiar de modo de transporte ante la aplicación de esta medida reguladora ha provocado la adquisición de otro vehículo (generalmente más viejo y por lo tanto más contaminante), generando una mayor emisión de precursores, el incremento del parque vehicular y las condiciones de tráfico y vialidad de 1989 se han recuperado para 1994. Reportes oficiales indican que el número de altas en el registro de placa permanente y ventas en el D.F. aumentó de 1987 a 1990, el cual se mantuvo hasta diciembre de 1994, posterior a esta fecha las ventas de vehículos nuevos han caído considerablemente a causa de la recesión económica volviendo a repuntar en 1996.

El consumo de gasolinas en la ZMCM refleja también el efecto de la implementación de dicho programa. La tasa de consumo presentó una sensible baja cuando en el invierno 1989-1990 se implementó el "Hoy no circula". Al finalizar esta temporada el consumo de gasolinas se restableció a la tasa de crecimiento normal. La figura 3.20., presenta esquemáticamente la cronología del

comportamiento de las ventas de gasolinas en la ZMCM (DDF, 1996). A principios de 1991 se lanza una intensa campaña anunciándose la introducción de una "diferente" gasolina (Magna-Sin) para uso exclusivo de vehículos automotores modelos 1991 con convertidores catalíticos. De nuevo se comete el error al instruir al público consumidor de que esta gasolina es optativa para vehículos 1986-1990. El uso de gasolina Magna-Sin, formulada con gasolina totalmente reformada, con un alto porcentaje de aromáticos y olefinas la cual la debe ser prohibida para usarse en vehículos sin convertidor catalítico, porque las emisiones de ROG más reactivos y de NO<sub>x</sub> quedan totalmente fuera de control.

**Fig. 3.15 Consumo promedio de gasolinas en la ZMCM 1988-1995.**



Fuente: Pemex, 1995.

### 3.4. Calidad de los combustibles.

Con el propósito de hacer un análisis del efecto que tienen las diferentes propiedades de una gasolina en los niveles de ozono atmosférico es importante mencionar algunas de las conclusiones logradas por el Consejo Nacional Estadounidense de la Investigación (NCR por sus siglas en inglés). En este sentido Calvert y colaboradores (Calvert, et al, 1993) señalan que " se ha fracasado en alcanzar las normas de calidad, a pesar de los programas de control de la contaminación en los últimos 20 años". Indican que en 1982 a 1991, tan sólo disminuyeron en 8% las concentraciones de ozono y comentan que el problema no es fácil de resolver.

La experiencia internacional advierte que el control de la contaminación es un reto costoso y que por ello es importante determinar la efectividad en costo de las diferentes opciones de control. Los cambios más promisorios que se pueden dar en la calidad de la gasolina desde el punto de vista ambiental consisten en disminuir el contenido de azufre y la presión de vapor. La reducción de azufre mejora la eficiencia del convertidor catalítico y la disminución de la presión de vapor tiene un efecto directo en la disminución de las emisiones evaporativas. También recomiendan disminuir T<sub>90</sub>, esto es, la temperatura a la cual destila el 90% de la gasolina y el contenido de olefinas. La adición de compuestos oxigenados es benéfica cuando se pretende mantener el octano y reducir el nivel de monóxido de carbono, pero esta acción parece no ofrecer beneficios con respecto a la reducción de ozono. Mencionan que no vale la pena abatir la contaminación de aromáticos en lo que a niveles de contaminantes por ozono se refiere.

En EE.UU. se prohibió la fabricación y venta a nivel nacional de gasolina con plomo desde finales de la década pasada. En la Tabla 3.7., se pueden observar las especificaciones de la gasolina regular norteamericana (CARB en California) con respecto a su similar mexicana (Magna Sin). Se puede observar con los datos anteriormente expuestos que la gasolina mexicana cumple con las normatividad nacional en la materia durante 1995. La gasolina californiana tipo CARB tiene

parámetros más estrictos que la gasolina Regular Norteamericana y que la Mexicana, en lo que respecta presión de vapor, destilación, contenido de azufre, aromáticos, olefinas y benceno. La diferencia se hará notoria a partir de junio de 1996, cuando en California entren en vigor nuevas especificaciones.

El grupo intersecretarial de política de combustibles estimó que Petróleos Mexicanos requiere de una inversión de 2,300 millones de dólares para optimizar la gasolina a una calidad cercana a la californiana. PEMEX está considerando alternativas para reducir la presión de vapor y el contenido de azufre en la gasolina Magna Sin., para 1997, se lanza al mercado para el consumo en nuestro país, una nueva gasolina reformulada denominada Premium, la cual según PEMEX es menos reactiva fotoquímicamente en la atmósfera de la ZMCM que su antecesora Magna Sin., retirando del mercado la gasolina nova y dejando para el consumo en la ZMCM, gasolinas inadecuadas para ser usadas en vehículos sin convertidor catalítico, con la consecuente emisión de precursores de ozono al ambiente.

**Tabla. 3.7 Comparación de especificaciones y valores típicos de las gasolinas mexicanas y norteamericanas sin plomo**

	Magna sin		Regular		Magna sin
	México Nom-086* 1995	EE.UU. ASTM D4814 1993	CARB 1996	CARB Junio 1996	Valor típico en 1995
Presión de vapor, lb/pulg <sup>2</sup>	6.5 - 8.5	7.8 máximo en Denver	7.0 máx.	6.8 máx.	8.1
Temperatura de destilación, °C:					
10% destila a °C (máximo)	65	70			53
50% destila a °C:	77-118	77 - 121	99 máx.	93 máx	100
90% destila a °C (máximo):	190	190	165	143	174
Temperatura final ebullición:	221	225			216
Azufre, % peso máximo	0.10	0.10	0.013	0.003	0.048
Plomo, kg/m <sup>3</sup> , máximo	0.0026	0.013			0.00017
Número de octano carretero, (R+M)/2, mínimo	87.0	87.0	87.0	87.0	87.3
Aromáticos, % volumen máximo	30	-	27	22	27.2
Olefinas, % volumen máximo	15**	-	8.5	4	10.3
Benceno, % volumen máximo	2	-	0.8	0.8	1
Oxígeno, % en peso	1-2		2 mín	2 mín	1.06

Notas: \* Norma publicada por el INE en el Diario Oficial del 2 de diciembre de 1994.

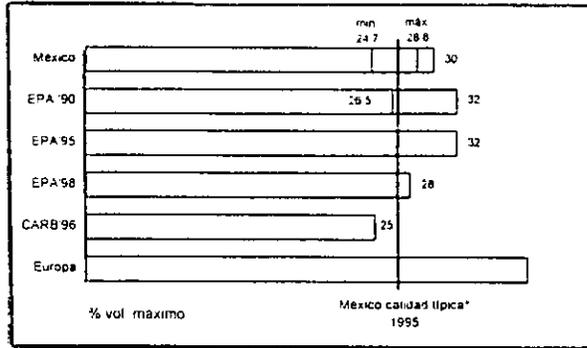
\*\* A partir de enero de 1998 el valor máximo permisible será de 12.5%

Los precursores de ozono son los hidrocarburos reactivos y los óxidos de nitrógeno. Al usar gasolina reformulada en California con las especificaciones de junio de 1996, se reducirán las emisiones de compuestos orgánicos volátiles en 17% y las de óxido de nitrógeno en 11%. Debe hacerse notar que las estimaciones se basan en una flota vehicular compuesta de automóviles dotados de convertidor catalítico. El efecto benéfico sería mucho menor si los vehículos no contasen con convertidor catalítico o si éste se encontrase desactivado por estar envenenado con plomo.

En las figuras 3.16., 3.17., 3.18., 3.19., 3.20., y 3.21., se compara la calidad típica de la gasolina sin plomo mexicana en lo que respecta al contenido de aromáticos, olefinas y benceno con la de otros países, en especial se compara de acuerdo con lo establecido en CARB'96, ya que esta es la que se recomienda y se usa en un área como es California con evidentes problemas de ozono.

**Fig. 3.16 Comparación de la calidad típica de la gasolina sin plomo mexicana con estándares internacionales, 1995.**

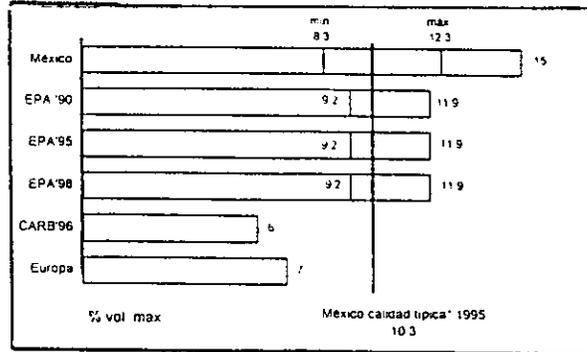
**Aromáticos**



\* Calidad típica en la Zona Metropolitana del Valle de México  
Fuente: PEMEX Refinación, EPA, CARB

**Fig. 3.17 Comparación de la calidad típica de la gasolina sin plomo mexicana con estándares internacionales, 1995.**

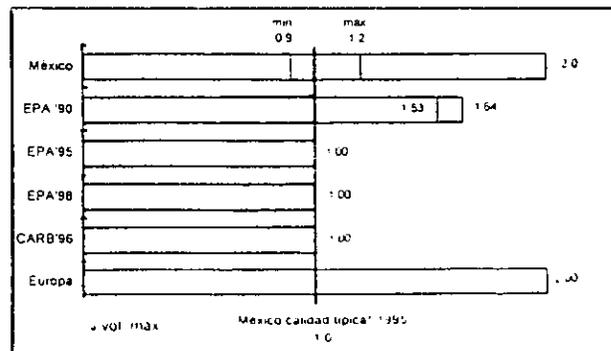
**Olefinas**



\* Calidad típica en la Zona Metropolitana del Valle de México  
Fuente: PEMEX Refinación, EPA, CARB

**Fig. 3.18 Comparación de la calidad típica de la gasolina sin plomo mexicana con estándares internacionales, 1995.**

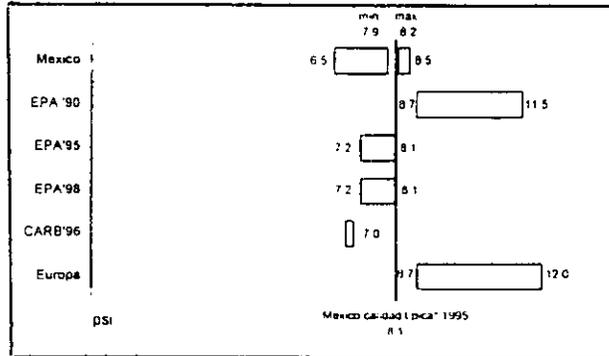
**Benceno**



\* Calidad típica en la Zona Metropolitana del Valle de México  
Fuente: PEMEX Refinación, EPA, CARB

Fig. 3.19 Comparación de la calidad típica de la gasolina sin plomo mexicana con estándares internacionales, 1995.

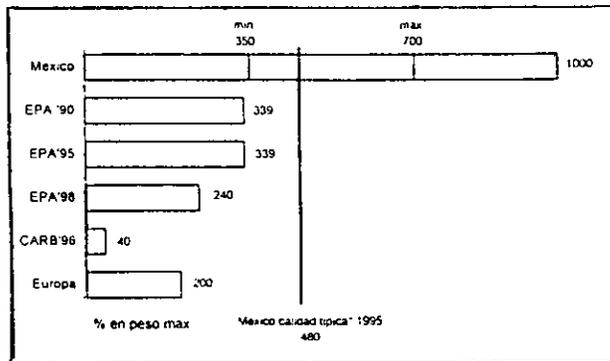
RVP



\* Calidad típica en la Zona Metropolitana del Valle de México  
Fuente: PEMEX Refinación, EPA, CARB

Fig. 3.20 Comparación de la calidad típica de la gasolina sin plomo mexicana con estándares internacionales, 1995.

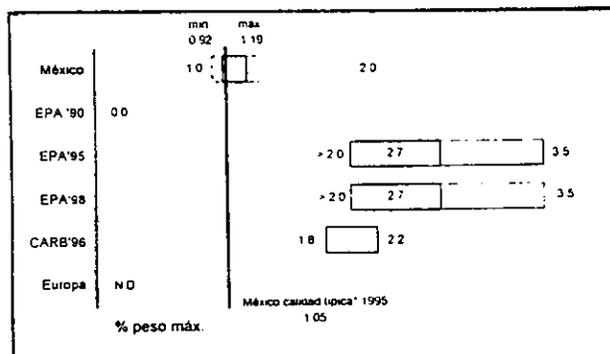
Azufre



\* Calidad típica en la Zona Metropolitana del Valle de México  
Fuente: PEMEX Refinación, EPA, CARB

Fig.3.21 Comparación de la calidad típica de la gasolina sin plomo mexicana con estándares internacionales, 1995.

Oxígeno



\* Calidad típica en la Zona Metropolitana del Valle de México  
Fuente: PEMEX Refinación, EPA, CARB

El control en la emisión aromáticos de la Magna Sin se está probando y variar su contenido dentro del intervalo 24.7 y 28.6%, siendo este último valor inferior al especificado en la norma. En olefinas, la gasolina Magna Sin oscila entre 8.3 a 12.3% con un valor típico de 10.3%. Al analizar de nuevo la Tabla 3.7. Puede inferirse que nuestra gasolina contiene ligeramente más olefinas que la gasolina federal norteamericana que es la gasolina recomendada para áreas con problemas de ozono. Tanto la gasolina de California como la europea acusan un mucho menor contenido de olefinas que la mexicana.

El hecho anterior puede explicarse por la configuración de las refinerías europeas en las que prevalece el equipo de reformación para incrementar el octano, mientras que las refinerías mexicanas y norteamericanas, para alcanzar el mismo fin, cuentan generalmente con dos procesos: el de reformación y el de desintegración catalítica de gasóleos de vacío en lecho fluido. No es de extrañar entonces, que la gasolina europea tenga elevados índices de aromáticos, benceno y bajos en olefinas.

En benceno, la gasolina Magna Sin presentó en 1995 un nivel acotado por el intervalo 0.9-1.2, con un valor típico de 1.0%. Este último valor es similar al federal norteamericano y a la de California. La gasolina Magna Sin tiene la mitad del benceno que la europea.

Cuando se introdujo la gasolina Magna Sin en 1990, Petróleos Mexicanos contrató a las empresas Saybolt y Caleb Brett para que certificaran su calidad. Al no encontrar violaciones a las especificaciones imperantes en la época. Petróleos Mexicanos canceló los contratos en 1993: A partir de esa fecha Pemex Refinación y la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz realizan pruebas de calidad en forma independiente. Fue en 1995 cuando la CMPCCAVM encargó a la UNAM analizar la calidad de las gasolinas que se expendían en la ZMCM.

Respecto a la gasolina con plomo, la gasolina Nova cumplió en 1995 con las especificaciones nacionales de número de octano, presión de vapor, contenido de plomo, azufre, aromáticos, olefinas y benceno y con los cortes de destilación de acuerdo como se aprecia en la Tabla 3.8.

**Tabla 3.8 Especificaciones de la gasolina mexicana con plomo (1994 y 1995).**

Propiedad	Nova Norma-086* 1994	Valor típico en 1995
Presión de vapor, lb/pulg <sup>2</sup>	6.5 - 8.5	8.1
Temperatura de destilación, °C:		
10% destila a °C (máximo):	70	52
50% destila a °C:	77 - 121	89
90% destila a °C (máximo):	190	169
Temperatura final de ebullición:	225	217
Azufre, % peso máximo	0.15	0.07
Plomo, kg/m <sup>3</sup> , máximo	0.06 - 0.08	0.03
Número de octano Research, mínimo	81	82.7
Aromaticos, % volumen máximo	30	22.4
Olefinas, % volumen máximo	15	8.5
Benceno, % volumen máximo	2	1.2
Oxígeno, % en peso	1 - 2	0.78

Nota: \* Norma publicada por el INE en el Diario Oficial del 2 de diciembre de 1994

### 3.5. El impacto del uso de MTBE en la calidad del aire de la ZMCM.

Con el objeto de determinar el impacto de la adición de compuestos químicos a las gasolinas, Bravo y colaboradores (1991), realizaron un estudio sobre el efecto del uso del aditivo Metil-Terbutil-Eter (MTBE) en las gasolinas del Valle de México en la calidad del aire de la zona SW de la Ciudad de México. A la fecha de la realización de este estudio se desconocía algún otro que hubiera pronosticado a nivel cualitativo cual sería el efecto sobre los niveles altos de ozono observados en la Ciudad de México por el uso de este aditivo. Aparentemente, la decisión del uso de este aditivo se basó en recomendaciones de fabricantes de este tipo de compuestos y en experiencias reportadas (Hoffman, 1987). La Compañía Norteamericana ARCO ha difundido que este tipo de gasolina resultará en una reducción de emisores de contaminantes para automóviles de los años pre-1975 y camiones pre-1988 (ARCO, 1989). De acuerdo con ARCO, en California, USA, se usará gasolina con MTBE como aditivo para sustituir a la gasolina regular con plomo. Para lograr esto ARCO reducirá el contenido de olefinas y aromáticos, así como el contenido de azufre y la presión de vapor "Reid" considerando que el MTBE mejorará el octanaje de estas nuevas gasolinas a utilizarse en automóviles sin catalizadores. Sin embargo, en México se continuó usando gasolina con altos niveles de olefinas y aromáticos, con la adición de tetraetilo de plomo y el MTBE como aditivo con estos antecedentes, se planteó un programa de muestreo y monitoreo de formaldehído y ozono en la estación de monitoreo del CCA-UNAM, para comparar las posibles diferencias de los niveles de estos dos compuestos en el periodo de invierno.

Los periodos seleccionados fueron diciembre-enero-febrero (1988-89) antes del MTBE y diciembre-enero-febrero (1989-90) después de la adición de MTBE. Es importante señalar que este es el primer caso a nivel mundial en que se mezclan: MTBE/plomo/aromáticos (Bravo, 1991).

El formaldehído (HCHO) es un contaminante atmosférico primario y secundario, ya que es emitido directamente por vehículos automotores y es formado fotoquímicamente en la atmósfera tanto por la mañana como por la tarde, pero con menor intensidad al mediodía. La estimación en masa y porcentual del HCHO como contaminante secundario en áreas urbanas es difícil de cuantificar, pero se estima que cerca del 70% es formado por mecanismos de química atmosférica (Carey, 1987). Se considera que las concentraciones de ozono medidas en ambientes urbanos son el resultado entre las fuentes (emisiones directas y reacciones químicas) y diversas rutas químicas de remoción atmosférica. La dependencia de las concentraciones de HCHO sobre la actividad fotoquímica está demostrada ampliamente (Caddle y Allen, 1970; Calvert et. al., 1972; Cleveland et.al., 1988).

Se conocen diversos mecanismos de formación de HCHO de los cuales las reacciones por radicales hidróxilos y ozonólisis parecen ser los más importantes. El primero de ellos está relacionado con uno de los radicales más importantes, el radical hidróxilo (OH), y cuya presencia se debe a diversos procesos de química atmosférica. Por otro lado, el HCHO también puede ser emitido por los escapes de vehículos dependiendo del tipo de motor (Sigsby, 1987).

Cabe mencionar que no existen factores de emisión por fuentes vehiculares de HCHO para México. Adicionalmente, el uso de combustibles oxigenados presenta el potencial de formación de HCHO debido a la introducción de oxígeno al combustible. Una revisión exhaustiva de reportes de HCHO en atmósferas urbanas señala lo siguiente: (Cleveland et. al., 1997; Kalabocas et. al., 1988; Richardson, 1982; Sigsby et. al., 1987; Grosjean, 1990):

- El formaldehído puede ser emitido por vehículos automotores o ser producido por la fotoquímica atmosférica.

- El formaldehído y su patrón de distribución está determinado por la actividad fotoquímica por las tardes, y en las noches por la presencia de ácido nitroso (HONO).

- El formaldehído está afectado por las condiciones meteorológicas del área y plumas urbanas existentes.

- El  $O_3$  parece correlacionarse con el formaldehído de origen fotoquímico.
- El formaldehído de origen vehicular proporciona rutas alternas muy bien definidas de formación de radicales libres.
- El formaldehído puede incrementarse en sus emisiones vehiculares con el uso de combustibles oxigenados.
- El formaldehído presenta interés por su riesgo a la salud como compuesto potencialmente carcinogénico.

La Figura 3.22., muestra claramente que existió un cambio sensible en la presencia de niveles de formaldehído antes y después de la introducción del MTBE, lo cual podría explicarse como resultados del incremento de emisiones de HCHO de origen vehicular y de una modificación en las especies reactantes formadoras de formaldehído (Bravo, et. al., 1991)

La figura 3.23., indica que parece no haber cambio en el patrón de niveles de  $O_3$  respecto a un posible desfase de los niveles máximos, sin embargo, el patrón de tipo gaussiano típico del ozono se ha ampliado lo que se refleja en que la actividad fotoquímica inicia más temprano y termina más tarde incrementándose las horas con valores de ozono por arriba de la norma.

Se encuentra no haber cambio en el patrón de niveles de  $O_3$  respecto a un posible desfase de los niveles máximos, sin embargo, el patrón de tipo gaussiano típico del ozono se ha ampliado lo que se refleja en que la actividad fotoquímica inicia más temprano y termina más tarde incrementándose las horas con valores de ozono por arriba de la norma.

Es a principios de los noventa en que se acepta finalmente a nivel gobierno de la Ciudad de México la existencia del problema de la contaminación fotoquímica por ozono en la ZMCM, y se da a conocer el Programa Integral para el Control de la Contaminación Atmosférica (PICCA) por la Secretaría del Medio Ambiente y Ecología del DDF, en la cual se establecen en una primera fase 41 compromisos entre los diversos sectores de la sociedad, de las cuales se desprenden 12 programas y/o acciones directas para el control del ozono y sus precursores.

**Fig. 3.22 Promedios horarios de formaldehído durante los trimestres diciembre-enero-febrero de 1988/1989/1990, antes y después de la introducción del aditivo MTBE respectivamente, determinados en la estación del CCA, UNAM.**

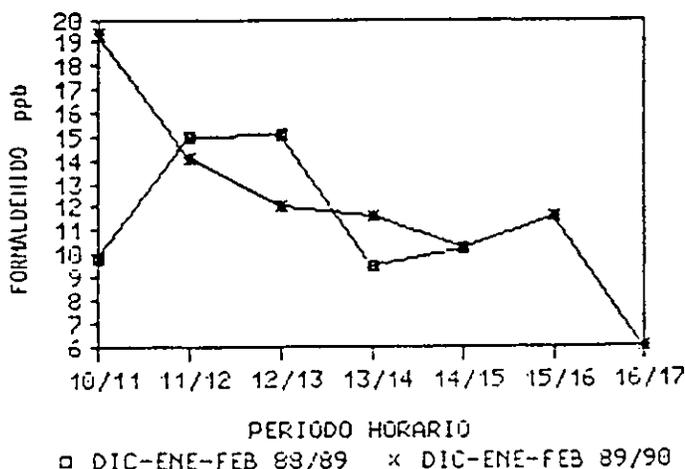
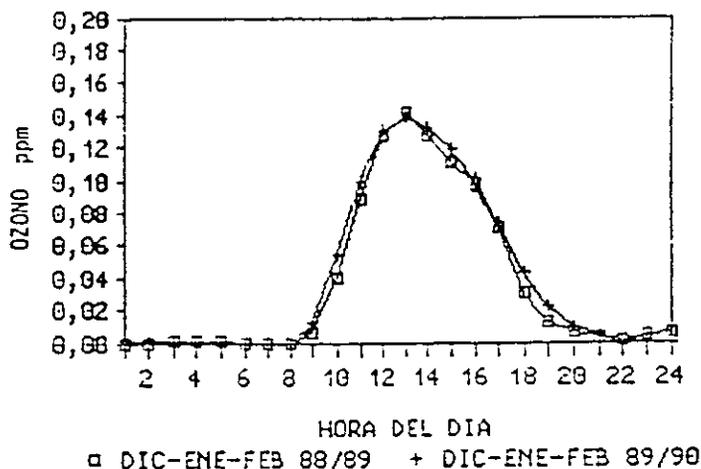


Fig. 3.23 Promedios horarios de ozono durante los trimestres diciembre-enero-febrero de 1988/1989/1990, antes y después de la introducción del aditivo MTBE respectivamente, determinados en la estación del CCA, UNAM.



Del conjunto de medidas inscritas dentro de dicho programa la más importante en su efecto directo con relación al control del problema del ozono fueron los compromisos de PEMEX sobre el suministro de combustibles limpios, con especificaciones para ser utilizados en automóviles con convertidor catalítico, lo cual a la vez implicaba que a partir de 1991 los vehículos saldrían de fábrica con el equipo ya instalado. Asimismo, se continuaría con el suministro de gasolina con MTBE en gasolinas con bajo contenido de plomo y se iniciaría la instalación de recuperadores de vapores de hidrocarburos en terminales de almacenamiento y distribución de combustibles. Sin embargo, la gasolina Magna-Sin que sólo podría consumirse en vehículos equipados con catalizadores. Se inició su comercialización anunciada por parte de PEMEX garantizaba su utilización en vehículos con o sin convertidor catalítico indistintamente. La combinación de varios escenarios ocasionó que un buen número de los vehículos equipados con catalizador a partir de 1991 tuvieron inservible su convertidor, ya que el plomo de la gasolina que por necesidad tuvieron que cargar en algún momento de ese año envenenó los metales nobles del dispositivo. La consecuencia ambiental fue la emisión con baja eficiencia de control de  $\text{NO}_x$  e hidrocarburos reactivos.

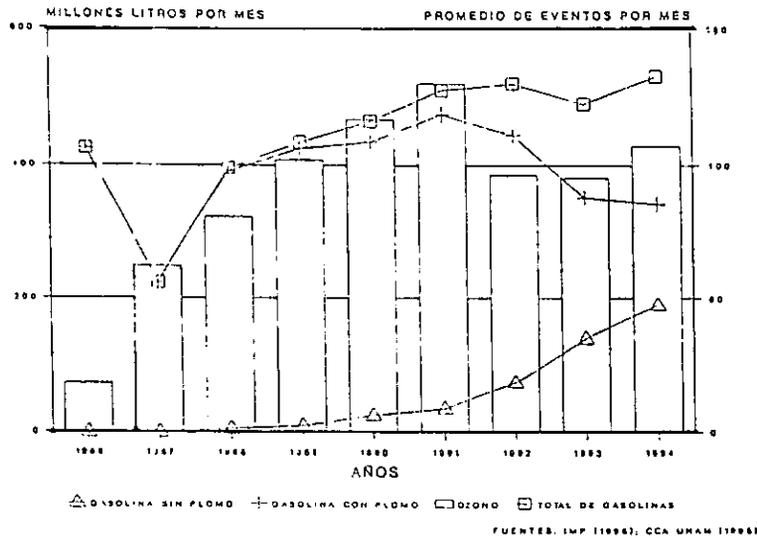
Cabe mencionar que en ese año (1991) las ventas promedio de gasolina con plomo (entre 0.5 y 1.0 ml de tetraetilo de plomo por galón y 5% de MTBE) alcanzaron un pico máximo del orden de  $47.5 \times 10^6$  litros/mes. Coincidentemente, el número promedio de eventos de ozono por arriba de la norma de calidad del aire respectiva presentaron un pico de 130 eventos por mes, la figura 3.24., ilustra este comportamiento.

En 1992 se presenta un incremento de vehículos en circulación, un incremento en las ventas de la gasolina Magna-Sin y un decremento importante en la venta de gasolina Nova con plomo y MTBE. Asimismo, se presenta una anomalía meteorológica natural de ocurrencia extraordinaria de lluvia en la Cuenca de México, (Bravo et.al., 1993). Como consecuencia, los niveles de ozono registrados disminuyen, a valores similares a los de 1989 (fig. 3.25). También se inicia por parte de PEMEX a finales de 1992 el control de varias especificaciones de la gasolina Magna-Sin como contenido de aromáticos y olefinas y presión de vapor Reid, sin llegar a lo recomendado en California. Asimismo, para finales de ese año más de el 100% de los tanques de almacenamiento de combustibles de PEMEX cuentan ya con dispositivos de control de emisiones evaporativas lo cual implica una reducción sensible de hidrocarburos emitidos a la atmósfera, pero no ocurre así en las estaciones de servicio de PEMEX.

En 1993 prácticamente se duplica el consumo de Magna-Sin en la ZMCM reduciéndose la venta de gasolina Nova en poco más del 20% con relación al año de 1992. Asimismo se incrementa el número de vehículos nuevos con catalizador y ya casi se ha terminado la instalación de membranas

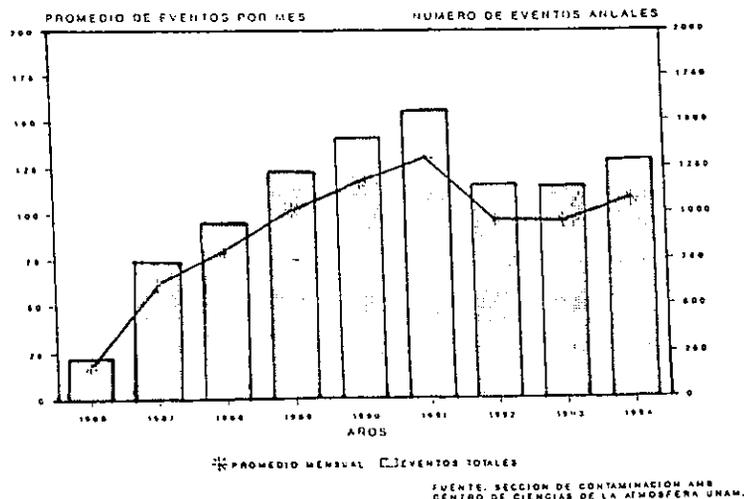
internas flotantes en los tanques de almacenamiento de las terminales de PEMEX en la ZMCM. Como consecuencia la ocurrencia de niveles de ozono fue similar a la de 1992 a pesar de ser un año normal respecto a lluvias.

**Fig. 3.24 Comportamiento de ventas de gasolinas en la ZMCM y promedio mensual de eventos de ozono registrados en C.U:**



En 1994 el consumo de gasolina Magna-Sin continúa incrementándose; el consumo de gasolina Nova ya no se presenta a la magnitud de la tasa de 1993 pero continúa a la baja; ya no hay tasa de ventas de vehículos nuevos de los años anteriores y se complica el tráfico vehicular como consecuencia de la ineficiencia operativa del programa "Hoy no circula" (Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México, 1994).

**Fig. 3.25 Comportamiento de la ocurrencia de eventos de ozono promedio mensual y número total en C.U.**



No obstante, técnicamente se espera que los catalizadores de los vehículos modelos 1991-92 empiecen a perder efectividad por acumulación de kilometraje, algunos fabricantes de convertidores catalíticos afirman que la vida media de un catalizador en operación normal es de cinco años o 50,000 kilómetros. lo que ocurra primero, esto implica que para los vehículos 1991 para el año de 1996, la operatividad y eficiencia del convertidor catalítico instalado ya se habrá agotado, lo cual combinado con el escenario descrito en el párrafo anterior lleva a que los niveles de ozono vuelvan a tomar una tendencia positiva a niveles mayores que 1992 y 1993.

### 3.6. Movilidad urbana y el aporte ambiental del automóvil.

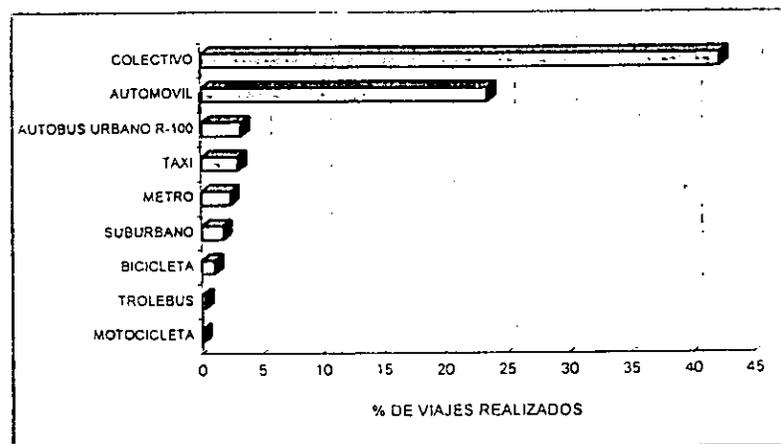
En la ZMCM la movilidad de la población corresponde a un patrón caótico, expresado en movimientos y a la generación de viajes en la zona metropolitana, obedece a la organización espacial de esta última, a la distribución locacional de sus principales centros de actividades, a los horarios escolares y laborales y en general a los hábitos y costumbres de los habitantes de la mancha urbana del la ZMCM.

Se estima que actualmente se realizan alrededor de 36 millones de viajes-persona-día en la ZMCM, correspondiéndole al automóvil particular satisfacer el 21% de los mismos. En la figura 3.26., se observa el problema de distribución modal de los viajes persona ambientalmente deficiente, porque la gran mayoría de ellos se realizan en vehículos de combustión interna.

En la figura 3.27., se observa la afluencia vehicular en las principales vías de comunicación de la ciudad, este se mantiene constante durante nueve horas (10:00 a 19:00 horas), presentando sólo una hora pico. De esta forma, las horas "valle" y "pico" durante el horario productivo de la ciudad, son prácticamente inexistentes, apreciándose a una alta afluencia vehicular homogénea.

La velocidad promedio vehicular es de 36 kilómetros por hora, esta es sumamente baja y se ve reducida aún más cuando la ciudad sufre de marchas, plantones, eventos oficiales, etc. Aunque es difícil de cuantificar el impacto ambiental de las marchas, debido a que éste depende de la magnitud de la manifestación (número de participantes), la hora en que se realiza, la vialidad que se afecta, el número de carriles obstruidos y la duración de la misma, esta demostrado que al reducir la velocidad cruceo de los vehículos se incrementan las emisiones vehiculares de CO, HC y NOx, estos dos últimos precursores de ozono.

**Fig. 3.26 Estructura porcentual de los viajes realizados en la ZMCM, según modo de transporte\*.**

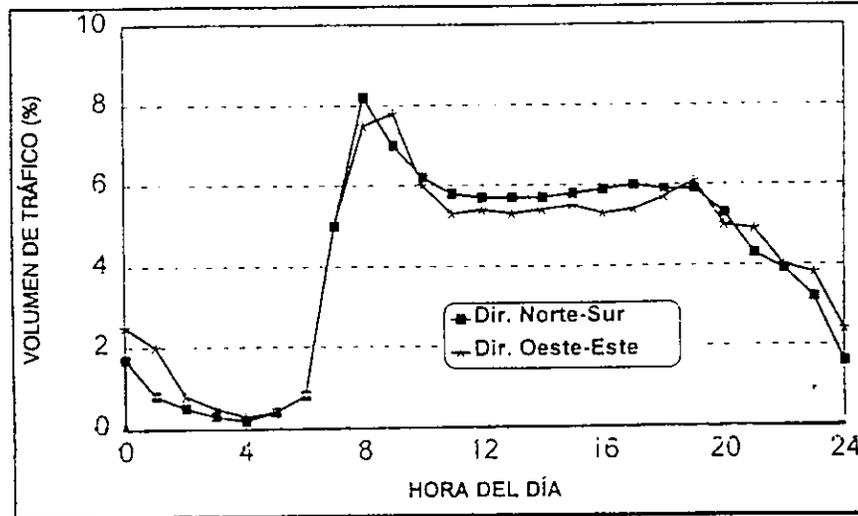


\* No incluye viajes realizados por menores de 6 años. La suma de los componentes no es igual a 100% ya que sólo se consideran viajes unimodales.

Fuente: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Área Metropolitana de la Zona Metropolitana, 1994.

Fuente: DDF-1995.

**Fig. 3.27 Comportamiento del tránsito vehicular para automóviles particulares**



**Fuente:** Aforos vehiculares, TÜV.

Además de su responsabilidad en las emisiones a la atmósfera, los vehículos automotores plantean costos e impactos adicionales al medio, que directa o indirectamente se debe ponderar con el objeto de conformar escenarios más realistas a la política ambiental urbana. En otras palabras el papel preponderante que juegan los automóviles en la dinámica diaria de la ZMCM contradice elementales criterios sociales, energéticos, de planeación urbana, ambientales y económicos.

Desde el punto de vista social, la predominancia del automóvil privado no es justificable: sólo a la quinta parte de la población que aporta el 75 % del Producto Interno Bruto (PIB 1996) y que viaja habitualmente en dicho medio, realizando tan sólo el 25% del total de viajes-persona-día (vpd); en tanto que los taxis (igual o más contaminantes que los autos privados) representan el 5% del parque vehicular y contribuyen con sólo el 3% de los viajes del transporte público (colectivos, metro, suburbanos, autobuses y trolebuses) absorbe el 50% de los viajes persona día (vpd).

El balance energético de la ZMCM indica que el consumo de gasolina por parte de los usuarios de vehículos automotores privados representa el mayor gasto relativo de la energía usada por el sector transporte. Por cada viaje persona día (vpd) los vehículos privados consumen alrededor de diecinueve veces más energía que el auto transporte urbano de gran capacidad (autobuses), nueve veces más que el transporte colectivo de ruta fija (peseros), sesenta y dos veces más que el metro y noventa y cuatro veces más que los trolebuses.

En relación con los criterios urbanos se puede considerar que el uso del automóvil es causa y resultado a la vez de la creciente expansión de la mancha urbana. Este proceso de expansión produce la necesidad de viajar cada vez distancias más largas para ir a trabajar, desde las áreas suburbanas con densidades relativamente bajas de población, en las cuales resulta sumamente difícil y costosa la dotación de un transporte público adecuado. Adicionalmente, las vialidades ocupan una superficie cada vez mayor del espacio urbano disponible, estimándose que hoy día casi el 30% de la ZMCM está cubierta por vialidades, aunque el aporte económico al PIB por la de los vehículos en las diferentes actividades representa un aporte significativo en la economía de la ZMCM.

Los costos externos de los propietarios de vehículos automotores en la Ciudad de México, se acentúa al considerar aspectos ambientales, pues, además, su limitada contribución en términos de

viajes persona día (vpd), los autos son responsables de más del 50% de las emisiones contaminantes producidas por el sector transporte. En cuanto a la carga contaminante expresadas en Unidades de Toxicidad Equivalente (UTE), por cada vpd, los autos privados emiten cinco y media veces más que los colectivos, siete veces más que los autobuses suburbanos y trece veces más que los autobuses de la Ruta-100 (Quadri y Sánchez, 1992), tal y como se aprecia en la tabla 3.9.

**Tabla 3.9 Consumo energético y carga contaminante por tipo de transporte (1989)**

Medio de transporte	Viaje persona día	Consumo energético Kcal x 10 <sup>10</sup> /día	Consumo de energía Kcal/VP	Emisiones por contaminante Ton/día UTE	Carga contaminante UTEx10 <sup>6</sup> /VPD
Autos privados	4 400 000	8.30	18 200.0	1 1809.9	411.34
Transporte colectivo, ruta fija y libres	10 020 000	2.30	2 295.0	759.33	75.78
R-100	4 200 000	0.45	1071.0	124.62	30.85
Autobuses suburbanos y líneas privadas "chimecos"	5 500 000	1.33	1873.0	304.20	55.31
Metro	4 800 000	0.15	319.0	41.17	8.57
Trofebús y tren ligero	535 000	0.01	187.0	3.46	6.4
Totales	29 450 000	11.94	4 054.0*	3 047.68	588.26*

\* Resultado promedio para todo el sistema de transporte.

FUENTE: Departamento del Distrito Federal (1990) *Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica*, Departamento del Distrito Federal (1989) *Programa Integral de Transporte* y Quadri G. y Sánchez Cataño L. (1992) *La Zona metropolitana y la Contaminación Atmosférica*. Limusa Nonega Editores México, D.F.

### 3.7. Distribución de concentraciones de ozono en la ZMCM.

El mecanismo fotoquímico de la formación de ozono depende además de las concentraciones de precursores de las condiciones de la cuenca atmosférica de la ZMCM. En el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM se han realizado el análisis de las trayectorias de viento que se presentan en días en los que se registraron niveles elevados de ozono en la Ciudad Universitaria.

Los resultados señalan que los mecanismos de formación de ozono son aún más complicados de lo que se suponía, encontrándose una gran evidencia de acumulación nocturna de contaminantes atmosféricos precursores de ozono por arriba de la capa de inversión de temperatura típica de la cuenca de México. Al amanecer se inicia el calentamiento de la superficie por el sol y la capa de inversión poco a poco se va rompiendo hasta que se logra un vigoroso mezclado vertical entre las capas por debajo de la inversión y la de arriba, de tal forma que se puede estar presentando una reinyección de precursores adicionales a las concentraciones matutinas precursoras del ozono. En la figura 3.28., se muestra la trayectoria seguida por la masa de aire que arribó a la zona del Pedregal el 2 de febrero de 1988 con una concentración de 0.295ppm de O<sub>3</sub>. La masa de aire inició su recorrido en la vecindad de Texcoco (8:00 a.m.), cruzó por la zona industrial de Ecatepec y la Villa entre las 10:00 y las 11:00 hrs., llegó al Centro de la Ciudad al mediodía, para arribar a la zona del Pedregal entre las 13:00 y las 14:00 hrs. La reincorporación de contaminantes acumulados por arriba de la capa se presentó entre las 10:00 y las 11:00 hrs. Sin embargo, esto no quiere decir que en el Pedregal se registren los máximos de concentración, lo que sucede es que en esta zona se localizan los últimos monitores de ozono en relación viento abajo de la ZMCM. Es altamente probable que niveles aún mayores se estén presentando en las faldas del Ajusco, Contreras y Cuajimalpa según estudios de monitoreo realizados en estas zonas (Torres, 1991). Es evidente, de

cualquier forma, que la zona Suroeste de la ZMCM sufre la presencia de concentraciones máximas de ozono, como consecuencia del transporte de los vientos.

La figura 3.29., esquematiza la distribución de la frecuencia anual de excedencias a la norma de calidad del aire para  $O_3$  en la ZMCM con datos de la UNAM y SEDUE de 1988, en donde se puede apreciar la fracción de la mancha urbana y de la población que está expuesta a niveles de ozono.

Fig. 3.28 Trayectoria seguida por la parcela de aire que arribo a la zona del Pedregal el 2 de febrero de 1988, con una concentración máxima de ozono de 0.295.

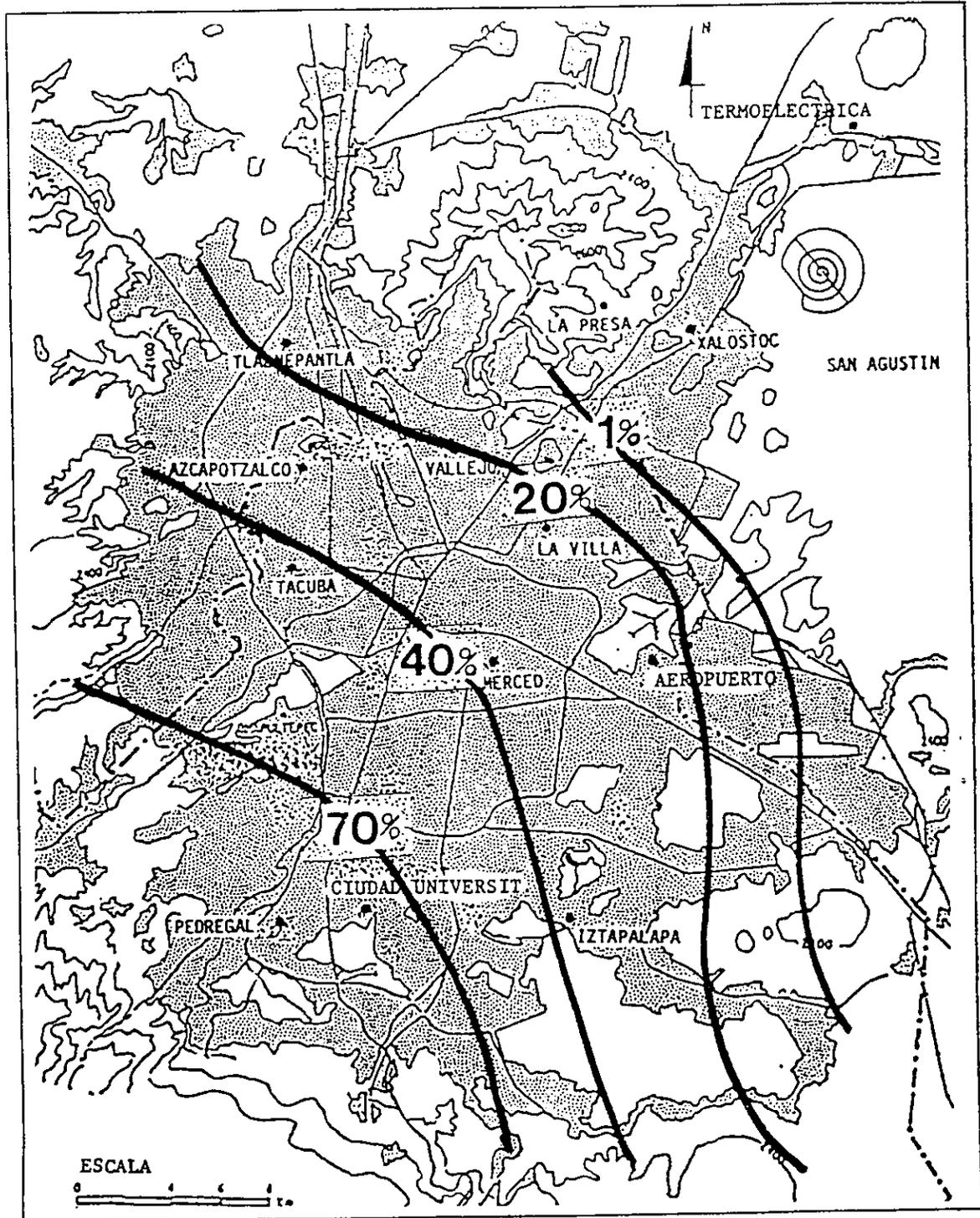
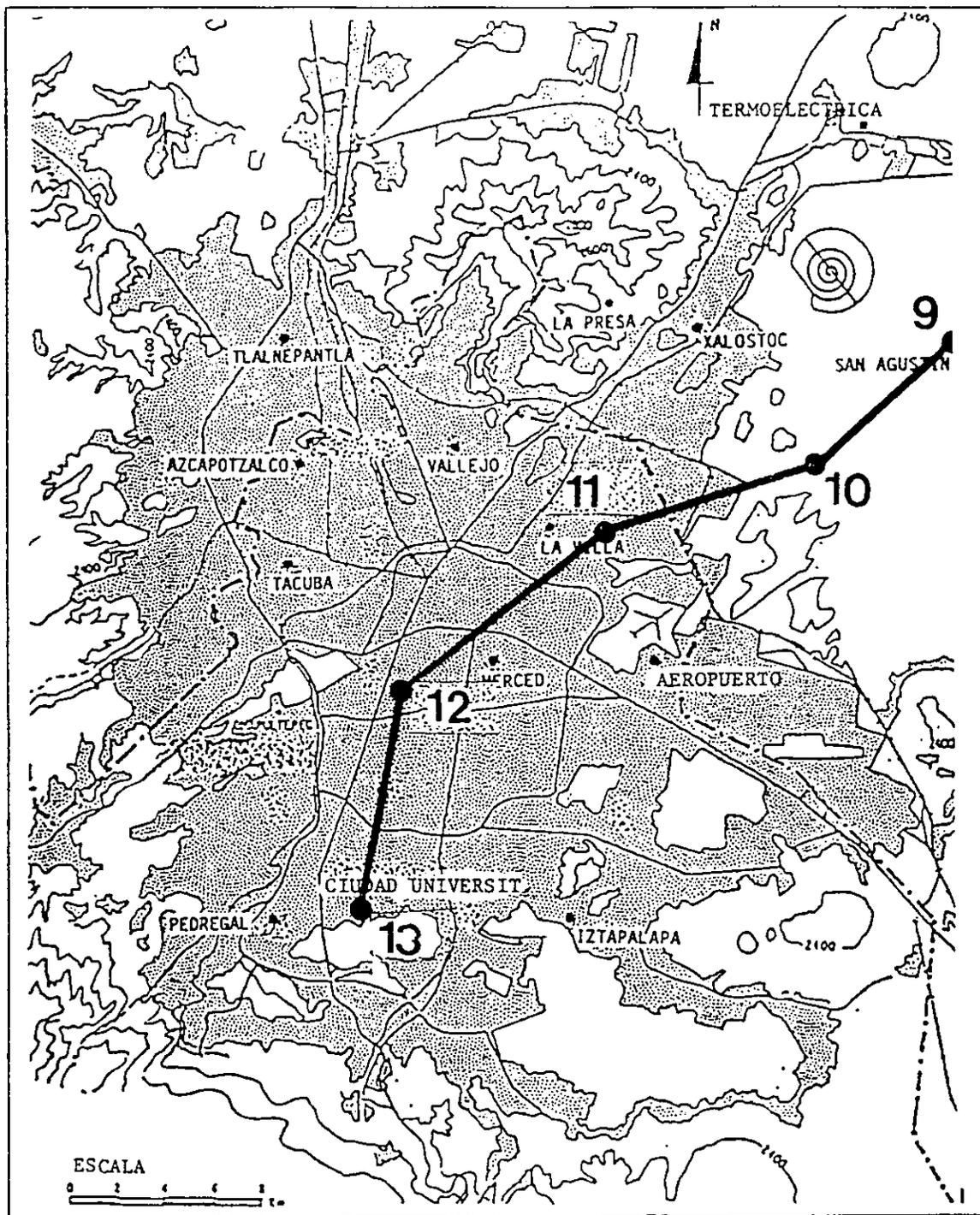


Fig. 3.29 Distribución de la frecuencia anual de excedencias a la norma de calidad del aire para ozono en la ZMCM durante 1988.



Fuente: Torres J., R., 1991.

## **Capítulo IV.**

# **Acciones para el control de la contaminación ambiental en la ZMCM.**

### **4.1. Inventarios de emisiones en la Ciudad de México.**

En el año de 1989, en colaboración con la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), y el Gobierno de México, se realizó otro intento de inventario detallado de emisiones contaminantes, que no varió grandemente del existente. Sólo a partir de este inventario fue posible diseñar, durante 1990, la estrategia integral para la búsqueda y control de las principales fuentes de contaminación que afectan la calidad del aire de la ZMCM.

### **4.2. Programa integral contra la contaminación atmosférica de la ZMCM.**

En octubre de 1990, el Gobierno del Distrito Federal, con el objeto de resolver el problema de la contaminación atmosférica, instrumenta una estrategia global, la cual se conforma con la aplicación de acciones y medidas permanentes, temporales y estacionales. El conjunto de estas acciones constituye el esquema principal de aplicación permanente y coordinada del llamado: Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (PICCA). El PICCA fue diseñado a partir de estudios sistematizados de la situación ambiental de la cuenca de México, con la participación de científicos mexicanos y especialistas internacionales que tienen una gran experiencia en la solución de problemas de contaminación urbana, de países tales como: Japón, Estados Unidos, Alemania, Francia e Inglaterra. El PICCA fue desarrollado con énfasis en el control de la fuente de emisión de los contaminantes atmosféricos y la calidad de los combustibles, gasolinas, diesel, y otros combustibles de uso industrial.

El PICCA estaba constituido por cinco estrategias principales:

1. La promoción de la investigación local, la educación ambiental, así como la participación ciudadana;
2. El mejoramiento en la calidad de los combustibles, empleando criterios ambientales para que éstos sean cada vez más limpios, menos reactivos y menos tóxicos;
3. La ampliación y el mejoramiento del transporte colectivo y el control de emisiones de los vehículos en circulación;
4. La modernización de la industria, incluyendo el mejoramiento de sus procesos y el control de sus emisiones contaminantes, y
5. La restauración ecológica del Valle de México y la reforestación.

Este programa ha tenido un costo estimado de 2,333.15 millones de dólares hasta diciembre de 1995. El financiamiento de este programa proviene en un 76% de varias dependencias gubernamentales, el 24% restante proviene de créditos de instituciones financieras internacionales que incluyen el Banco de Reconstrucción y Fomento (Banco Mundial), el Banco Interamericano de Desarrollo, el EXIMBANK y el Fondo de Cooperación Económica del Japón (OECF), (CMPCCAVM, 1994, DDF, 1996)

La estrategia integral del PICCA, se basó específicamente en alternativas de acción de una política de gestión de la calidad del aire relacionada con: el mejoramiento de la calidad de

combustibles que se utilizan; la racionalización y reestructuración del transporte urbano; la modernización de las tecnologías de producción y la instalación de sistemas de control de emisiones vehiculares e industriales, la prohibición al establecimiento de nuevas actividades contaminantes y la reubicación de las existentes; el rescate, protección y recuperación de áreas ecológicas sensibles o deterioradas; el control y disposición de desechos sólidos e introducción de drenaje; la educación, comunicación y participación ciudadana.

De las estrategias planteadas en el PICCA se establecieron 6 compromisos, generando y aplicando 40 medidas y 109 proyectos específicos. Los compromisos señalados a continuación se consideran prioritarios para controlar los principales causantes de la contaminación de áreas prioritarias:

1. La industria petrolera, en sus aspectos de exploración, explotación, refinación, distribución y calidad de combustibles.
2. El transporte, en sus modalidades de carga, colectivo e individual, tanto en su eficiencia urbana y ambiental, como su avance tecnológico, racional aprovechamiento energético y control de emisiones contaminantes.
3. La industria privada y los establecimientos de servicios, en su modernización tecnológica y productiva, así como su eficiencia energética y control de emisiones contaminantes.
4. Las termoeléctricas, por ser los mayores consumidores de combustibles en la ciudad, en uso continuo de energéticos limpios.
5. Reforestación y restauración ecológica de los suelos deforestados, zonas sin drenaje, reservas ecológicas invadidas y tiraderos a cielo abierto.
6. Investigación, educación ambiental y comunicación social, por las entidades a cargo del monitoreo de la calidad del aire, y de la comunicación social.

En la tabla 4.1., se presentan las acciones y medidas específicas, propuestas por el PICCA para el control de la contaminación ambiental en la ZMCM.

Producto de la aplicación de las medidas establecidas por mandato presidencial más que las estrategias propuestas en el PICCA, la concentración de contaminantes primarios son reconocidos en el ámbito general como potencialmente peligrosos para la salud, se mantienen ya dentro de las normas de calidad del aire y con reducciones en las emisiones de: bióxido de azufre, y plomo, mientras que el O<sub>3</sub> que es un contaminante secundario y las partículas menores a 10 micras (PM-10) presentan una tendencia ascendente (CMPCCAVM, 1994, DDF, SEMARNAP; Gobierno del Estado de México., 1996).

#### **4.3. Políticas y estrategias implementadas para el control de la contaminación ambiental en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 1995-2000.**

La política ambiental asumida en el Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000, para la calidad del aire en la ZMCM, sitúa en un mismo nivel de prioridad la superación de la pobreza, la calidad de vida y la preservación del ambiente, postula que la calidad ambiental del desarrollo es parte de su calidad social, lo cual significa que el deterioro ambiental es nocivo para el desarrollo social; esto es contrario al enfoque económico convencional que supone que la elevación del nivel de vida se tiene que lograr independientemente de sus repercusiones ambientales. Dentro de este contexto, proteger al ambiente, no significa conservarlo sin aprovecharlo o dejarlo tal cual se encuentra o evitar cualquier afectación, puesto que las actividades humanas implican la intervención y transformación de los recursos naturales. La sustentabilidad de dichas actividades demanda, en cambio, que no se sobrepasen ciertos umbrales para permitir que el ambiente mantenga a largo plazo su capacidad de sostener la vida de las generaciones futuras (sic) (INE, 1994).

**Tabla. 4.1 Proyectos e incersiones del Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica (PICCA) (octubre de 1990 a diciembre de 1995).**

Medida	Ejecutor	Inversiones a diciembre de '95 (millones de dólares)
1. Elaboración de gasolina de calidad ecológica internacional.	PEMEX	810.81
2. Elaboración de diesel con bajo contenido de azufre.	PEMEX	118.33
3. Elaboración de combustóleo con bajo contenido de azufre.	PEMEX	
4. Elaboración de compuestos oxigenados TAME y MTBE. (4)	PEMEX	
5. Suministro de gasolina sin plomo. MAGNA SIN para los vehículos 1991 con convertidor catalítico.	PEMEX	345
6. Continuación de suministro de gasolina oxigenada con MTBE.	PEMEX	118.75
7. Recuperación de azufre en la Refinería 18 de Marzo. (Rescindido) (5)	PEMEX	
8. Recuperación de vapores de HC y cambio de quemadores en la refinería 18 de Marzo. (Rescindido) (5)	PEMEX	
9. Instalación de medidores de emisiones en las chimeneas de la refinería. (Rescindido) (5) Clausura definitiva de la refinería 18 de Marzo.	IMP PEMEX SEDESOL	500
10. Instalación de membranas internas flotantes en los tanques de almacenamiento.	PEMEX	0.63
11. Instalación de equipos para la recuperación de vapores en terminales de recibo y distribución de combustibles y gasolineras.	PEMEX SECTOR PRIVADO	4.225
12. Instalación inmediata de convertidores catalíticos en todos los vehículos a gasolina, modelo 1991.	SECTOR PRIVADO	
13. Ampliación del Metro.	DDF	
14. Renovación de R-100 con 3,500 unidades de baja emisión contaminante.	DDF	137.03
15. Reordenación y ampliación del Sistema de Transporte Eléctrico.	DDF	
16. Mejoramiento de vialidades, semaforización, estacionamientos y coordinación de modos de transporte.	DDF EDO MEX	
17. Autorización de rutas de autobuses para reducir el uso de vehículos privados y estimular el transporte institucional de escolares y empleados.	SECTOR PRIVADO	
18. Continuación del programa HOY NO CIRCULA.	DDF EDO MEX	0.18
19. Ampliación del Programa de Verificación obligatoria de Vehículos a gasolina, diesel y gas L.P.	EDO MEX SCT, DDF SEDESOL	4.41
20. Reconversión de flotillas de camiones de carga a gas LP incorporando convertidores catalíticos.	PEMEX SEDUE EDO MEX DOF	42.6

Fuente: DDF, 1996.

**Tabla. 4.1 Proyectos e incersiones del Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica (PICCA). Continuación.**

Medida	Ejecutor	Inversiones a diciembre de '95 (millones de dólares)
21. Introducción de convertidores catalíticos en taxis, combis y minibuses y transporte de carga	EDO MEX DDF	121.15
22. Cambio de combustóleo por gas natural en industrias	SEDESOL SECTOR PRIVADO	1.8
23. Convenios con la industria para control de emisiones.	DDF, SEDESOL SECTOR PRIVADO	
24. Prohibición de nuevas industrias contaminantes	DDF EDO MEX	
25. Racionalización del abasto de materiales y bienes y distribución nocturna en la ciudad	DDF SECTOR PRIVADO	1.0
26. Control de emisiones y reubicación de fundidoras	SEDESOL SECTOR PRIVADO	0.5
27. Realización de monitoreo continuo en las industrias más contaminantes	SEDESOL SECTOR PRIVADO	1.5
28. Mejoramiento de procesos de combustión e instalación de equipos de control en establecimientos de servicios.	SECTOR PRIVADO	0.5
29. Utilización de gas natural en las termoeléctricas hasta contar con combustóleo de bajo contenido de azufre.	CFE PEMEX	33.3
30. Suspensión invernal en la operación de unidades de generación	CFE	
31. Instalación de monitores continuos de emisiones en las centrales termoeléctricas.	CFE	2.0
32. Programa "Cada familia un arbol" Programa de Reforestación Urbana	DDF DDF-BID	0.5 47.1
33. Reforestación rural del Valle de México y su área ecológica de influencia.	DDF EDO MEX MORELOS	20.219
34. Programa de pruebas de dispositivos anticontaminantes y combustibles alternos en vehículos automotores.	IMP PEMEX	0.2
35. Instalación de laboratorios de control de calidad de combustibles.	PEMEX SECTOR PRIVADO	4.6
36. Ampliación y reforzamiento de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA).	DDF	2.92
37. Desarrollo del "Estudio Global de la Calidad del Aire" (EGCA).	SEDESOL IMP	10.07
38. Instrumentación del Sistema de Vigilancia Epidemiológica de la ZMCM	SSA SEDESOL	1.0
39. Relación permanente con Universidades y Centros de Investigación.	SEDESOL DDF IMP	2
40. Capacitación de maestros y formación de los niños.	SECTOR EDUCACIONAL	0.5
41. Programas de formación profesional y capacitación.	SECTOR EDUCACIONAL	0.5
<b>Fuente: DDF, 1996. TOTAL</b>		<b>2,333.315</b>

Dentro de este marco relativo para la ZMCM, se considera clave:

- La ejecución de programas para el cumplimiento de los compromisos internacionales adquiridos por México destinados a limitar las emisiones contaminantes a cantidades y plazos determinados.
- El monitoreo y el control de la contaminación fotoquímica.
- La administración local de la calidad del aire, en particular de las áreas urbanas, con la contribución de la industria, el transporte, las autoridades locales y el público en general.

Con el objeto de evaluar el logro de las metas fijadas en el PICCA y poder determinar el desempeño de la administración de la calidad del aire, se han establecido internacionalmente sistemas de información que permiten contar con indicadores útiles para tales fines (SEDESOL-INE, 1994), entre ellos se encuentran:

1. La estimación del peso anual de emisiones de los principales contaminantes al aire, generados por fuentes móviles (vehículos automotores, principalmente) y fijas (centrales eléctricas, combustión industrial, procesos industriales, combustión no industrial y uso de solventes, entre otros).
2. Las tendencias de la calidad del aire, en términos de concentración de bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), partículas suspendidas, ozono (O<sub>3</sub>) y plomo (Pb), a nivel nacional, en áreas urbanas y estaciones localizadas en lugares en los que se pueda determinar las concentraciones de fondo.
3. La tendencia de las precipitaciones ácidas.
4. Emisiones de Pb por:
  - total de fuentes móviles (vehículos automotores y otros).
  - total de fuentes fijas.
5. Emisiones de CO por:
  - total de fuentes móviles.
  - total de fuentes fijas (centrales eléctricas, combustión industrial, procesos industriales, combustión no industrial, entre otros).
6. Clorofluorocarbonos (CFCs)
  - Consumo total en aerosoles, refrigeración, espumas de plásticos, otros.
7. Halones.
  - Consumo total extintores, entre otros.

En este contexto, actualmente las principales ciudades del país cuentan con equipo de monitoreo atmosférico manual y algunas de ellas con equipos automáticos, de los cuales la mayor parte están en proceso de instalación, prueba o actualización. Estos últimos han sido adquiridos principalmente con recursos del Programa Regional de Administración de la Calidad del Aire en Zonas Críticas y del Programa Integral Ambiental Fronterizo (PIAF). Se efectuó la transferencia de los sistemas de monitoreo a los gobiernos de los estados, los cuales serán responsables de su operación, con la supervisión del INE y el apoyo con instrumentos, asesoría técnica la RAMA-DDF. En la Tabla 4.2. se indican las dependencias estatales a cargo de la gestión ambiental de la calidad del aire en el territorio mexicano.

En la zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), al crearse la Comisión Ambiental Metropolitana (DDF, 1996), cuya competencia incluye las 16 delegaciones que conforman el Distrito Federal (DDF) y los 17 municipios conurbados del Estado de México, el INE transfirió a ella la red respectiva de monitoreo de aire (RAMA) que dependía de la Secretaría de Ecología del Gobierno del Distrito Federal.

Tabla 4.2 Dependencias a cargo de la gestión ambiental a nivel estatal.

Entidad federativa	Dependencia
Aguascalientes	Secretaría de Desarrollo Social del Estado.
Baja California	Dirección General de Ecología del Estado.
Baja California Sur	Secretaría de Planeación Urbana e Infraestructura del Estado.
Campeche	Secretaría de Desarrollo Social del Estado.
Chiapas	Secretaría de Desarrollo Rural y Ecología del Estado.
Chihuahua	Dirección General de Desarrollo Urbano y Ecología.
Coahuila	Secretaría de Desarrollo Social del Estado.
Colima	Secretaría de Desarrollo Urbano del Gobierno del Estado.
Durango	Secretaría de Desarrollo Social del Estado.
Estado de México	Secretaría de Ecología del Estado de México.
Guanajuato	Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas del Estado.
Guerrero	Procuraduría de Protección Ecológica del Estado.
Hidalgo	Consejo Estatal de Ecología.
Jalisco	Comisión Estatal de Ecología del Estado de Jalisco.
Michoacán	Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología del Gobierno del Estado.
Morelos	Secretaría de Desarrollo Ambiental.
Nayarit	Comisión de Desarrollo Urbano y Ecología.
Nuevo León	Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas del Estado de Nuevo León.
Oaxaca	Secretaría de Desarrollo Urbano, Comunicaciones y Obras Públicas.
Puebla	Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología del Estado de Puebla.
Querétaro	Secretaría de Desarrollo Urbano, Obras Públicas y Ecología del Estado.
Quintana Roo	Secretaría del Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial.
San Luis Potosí	Coordinación General de Ecología y Gestión Ambiental.
Sinaloa	Secretaría de Desarrollo del Gobierno del Estado.
Sonora	Secretaría de Infraestructura Urbana y Ecología del Estado.
Tabasco	Secretaría de Comunicaciones, Asentamientos y Obras Públicas del Gobierno del Estado.
Tamaulipas	Secretaría de Desarrollo Social del Estado.
Tlaxcala	Coordinación Estatal de Ecología.
Veracruz	Secretaría de Desarrollo Urbano del Estado.
Yucatán	Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado.
Zacatecas	Secretaría de Planeación del Gobierno del Estado.
Zuñari	Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México.

Fuente: INE-SEDESOL, 1994

### Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000

Es en marzo de 1996 que se establece el convenio de concertación ambiental entre la SEMARNAP, El Gobierno de la Ciudad de México, Del Estado de México, PEMEX y la CFE, y que tiene como objetivo llevar a cabo el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000, con el propósito de proteger la salud de la población que habita en la ZMCM, proponiendo abatir de forma gradual los niveles de contaminación atmosférica. Se sustenta y aborda el problema con un enfoque sistémico e integrador. Este programa se define a partir de un análisis y mediante la revisión exhaustiva por parte de las entidades mencionadas en el convenio de concertación de las causas de la contaminación atmosférica, en su planteamiento se elabora una tipología de las variables consideradas y se determinan las metas generales del programa; así mismo se definen las estrategias para cada logro de cada una de las metas propuestas, así como de los instrumentos que las conforman.

Los objetivos generales del el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 pretenden lo siguiente:

Lograr gradualmente disminuir niveles de contaminación durante el día y así como las contingencias al año, como el resultado de un abatimiento del 50% de las emisiones de hidrocarburos, 40% de óxidos de nitrógeno y 45% de partículas suspendidas de origen antropogénico, para el año 2000.

Esto se traduce en desplazar hacia la izquierda la distribución de frecuencias del IMECA, logrando que la medida anual de esta distribución se reduzca de 170 puntos en la actualidad a un nivel a un nivel entre 140 y 150 puntos; y que se abata en un 75% la probabilidad de ocurrencia de contingencia por encima de los 250 puntos, para el año 2000. Evidentemente, el mantenimiento del Programa de Contingencias Ambientales permitirá minimizar el número de días en que efectivamente el índice IMECA supere los 250 puntos (conociendo que la norma de calidad ambiental para ozono es mayor de 0.11 ppm ó 100 IMECA) al reducir las emisiones de contaminantes durante episodios de estancamiento atmosférico (Fig. 1., Introducción).

En forma no consecvente ya que la norma es de 100 y no de 200, se espera lograr beneficios para la salud de la población de la ZMCM, especialmente la de los niños y grupos sensibles. Tan sólo en épocas invernales se espera, para el año 2000, una disminución de más de 3000,000 casos de enfermedades respiratorias agudas (DDF-1996).

El programa está constituido por cuatro metas generales y definiciones técnicas:

- I. Industria limpia: reducción de emisiones en industria y servicios.
- II. Vehículos limpios: disminución de emisiones por kilómetro.
- III. Nuevo orden urbano y transporte limpio: regulación del total de kilómetros recorridos por vehículos automotores.
- IV. Recuperación ecológica: abatimiento de la erosión.

Las estrategias propuestas para el logro de cada una de las metas se definieron con base en necesidades tales como: nuevas tecnologías, oferta adecuada y eficiente de transporte público, criterios ambientales para el desarrollo urbano y elaboración del ordenamiento ecológico, educación e información ambiental entre muchas otras. Integradas, de tal forma que quedan definidas en nueve estrategias:

1. Mejoramiento e incorporación de nuevas tecnologías en vehículos automotores.
2. Mejoramiento e incorporación de nuevas tecnologías en la industria y los servicios.
3. Mejoramiento y sustitución de energéticos en la industria y los servicios.
4. Mejoramiento y sustitución de energéticos automotrices
5. Oferta amplia de transporte público seguro y eficiente.
6. Integración de políticas metropolitanas (desarrollo urbano, transporte y medio ambiente).
7. Incentivos económicos.
8. Inspección y vigilancia industrial y vehicular.
9. Información y educación ambiental y participación social.

#### **4.4. Acciones para el control de la contaminación ambiental por ozono en la ZMCM.**

Las acciones establecidas en el PICCA y retomadas por el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 para reducir y controlar los contaminantes atmosféricos en la ZMCM se observan detalladamente para cada contaminante en la Tabla 4.3. (INE, 1994). Del cuadro anterior a continuación se describen 12 acciones específicas para el control del ozono y sus precursores (hidrocarburos y óxidos de nitrógeno), así como para el control del bióxido de nitrógeno las cuales son:

## **1.- Verificación vehicular obligatoria,**

El programa de verificación vehicular en la ZMCM, tiene como propósito el inducir un adecuado mantenimiento de los vehículos y garantizar un nivel controlado de las emisiones contaminantes, dependiendo de la tecnología automotriz que se utilice, el combustible y la antigüedad de los autos en circulación. En 1988 se hizo obligatoria la verificación vehicular, tanto para vehículos de gasolina como a diesel. En la ZMCM operaban hasta el año de 1995, 1065 centros de verificación vehicular de tipo Bar-90, los cuales fueron transformados en macrocentros con sistema de verificación dinámica a finales de 1996.

En 1993 el programa fue modernizado con equipos de medición computarizado (BAR-90). Al iniciarse la verificación computarizada, el nivel de rechazo global fue de 42% en el primer intento de verificación. Al finalizar el año el nivel de rechazo se redujo al 26%. El porcentaje de vehículos rechazados ha disminuido, no se ha determinado si esto es debido a que es una respuesta de la población que comprenden la necesidad de afinar su auto antes de llevarlo a verificar o algunas fallas de control del proceso de verificación (DDF, 1994). En 1996 el Programa de verificación es replanteado y modificado presentando nuevas normas de verificación de emisiones de fuente vehicular.

Entre otras medidas este cambio en el procedimiento en 1997 establece la liberación del programa Hoy no circula a los vehículos a partir del modelo 1993 y que cuenten con dispositivos tales como sistema de encendido electrónico, convertidor catalítico y un sistema de inyección de combustible de alta tecnología (inyección electrónica y recirculación de gases de combustión y detección de oxígeno) asignando una calcomanía con el número cero, mientras que a los vehículos que cuenten con convertidor catalítico y de modelos anteriores a 1993, solo podrán exentar el programa de dos días sin auto si cuentan con encendido electrónico de combustible y convertidor catalítico, el resto de los vehículos de 1991 y anteriores presentaran mayores restricciones vehiculares.

Para enero de 1996 la verificación vehicular sólo se podrá efectuar en macrocentros de verificación, con analizadores de gases computarizados y con medición de pruebas dinámicas que simulan condiciones de movimiento en los vehículos que están siendo verificados, asegurando una mayor confiabilidad al proceso.

La verificación vehicular obligatoria es una acción enfocada a controlar las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos este último precursor de ozono. Los efectos que tiene la verificación obligatoria van desde la formación de una conciencia ambiental y social sobre la importante contribución que realiza el automóvil en la generación de contaminantes atmosféricos, hasta la responsabilidad de contribuir al mejoramiento del ambiente.

## **2.- Oxigenación de gasolinas con éter ter-amil metílico (TAME) y éter metil terbutílico (MTBE).**

A partir de 1990, toda la gasolina que se distribuye en el Valle de México se oxigena por medio de la adición (5% en volumen) de éter metil terbutílico (MTBE), se desconoce la adición de éter teramil metílico (TAME). Según las especificaciones del IMP, el uso de gasolinas oxigenadas permite reducir en 15% la emisión de monóxido de carbono y un 11% las de hidrocarburos, sin incrementar las de óxidos de nitrógeno, pero se omite la emisión de formaldehído (no se conoce exactamente que porcentaje de MTBE se adiciona a la gasolina).

**Tabla 4.3 Acciones realizadas para la reducción y control de los contaminantes atmosféricos en la ZMCM.**

Contaminante atmosférico	Acciones realizadas
Plomo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducción de 92% de su contenido en la gasolina Nova</li> <li>- Introducción de gasolina sin plomo Magna Sin cuyo consumo representa ahora 32% del total</li> <li>- Reducción de su contenido en pinturas, barnices, tintas, esmaltes y acas</li> <li>- Utilización de pintura sin plomo y a base de agua para fines de variedad y mobiliario urbano</li> <li>- Eliminación del plomo en latas de alimentos, útiles escolares y juguetes</li> </ul>
Óxido de azufre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eliminación del uso del combustóleo en el Valle de México, sustituyéndolo por gasóleo industrial (contenido máximo de azufre 2%)</li> <li>- Cierre de la refinera 18 de marzo</li> <li>- Empleo de gas natural al 100% en las dos termoeléctricas del Valle de México y en 365 grandes industrias</li> <li>- Distribución únicamente de diesel especial (contenido de azufre <math>\leq 0.5\%</math>) desde 1990</li> <li>- Utilización de Diesel Sin (contenido de azufre <math>\leq 0.05\%</math>) a partir de octubre de 1993 principalmente para el transporte</li> </ul>
Monóxido de carbono	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introducción de gasolinas oxigenadas, reduciendo en promedio 10% las emisiones de CO</li> <li>- Modernización del Programa de Verificación Vehicular Obligatoria, logrando reducir 54% las emisiones de vehículos detectados como altamente contaminantes</li> <li>- Introducción de convertidores catalíticos en vehículos, los cuales reducen más de 90% de las emisiones de CO</li> <li>- Ampliación del Sistema de Transporte Colectivo Metro, el cual ofrece nuevas opciones de transporte</li> <li>- Puesta en operación de 3 500 autobuses de R-100 con motores de baja emisión de contaminantes</li> <li>- Introducción de gas LP en más de 25 mil vehículos de transporte público y de carga, disminuyendo en más de 90% sus emisiones de CO</li> <li>- Renovación de 47 065 taxis y 9 742 microbuses con unidades equipadas con convertidor catalítico</li> </ul>
Partículas suspendidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pavimentación de calles en una superficie equivalente a 1 705 millones de metros cuadrados</li> <li>- Plantación de 42 millones de árboles, durante los últimos cuatro años</li> <li>- Restauración ecológica del ex-vaso del lago de Texcoco, por lo que actualmente se han eliminado las tolvaneras intensas en esa zona</li> <li>- Uso de combustibles con menos de 2% de azufre</li> <li>- Operación al 100% con gas natural en las termoeléctricas y 365 grandes industrias</li> <li>- Introducción de motores diesel a partir de los modelos 1994, que cumplen con la norma de emisión más estricta del mundo</li> <li>- Verificación obligatoria de emisiones industriales</li> <li>- Realización de más de nueve mil inspecciones industriales</li> <li>- 86% del equipo ya instalado en industrias está orientado al control de partículas</li> <li>- Diversos cursos impartidos por la Conaie, para evitar la mala operación de las calderas</li> <li>- Sanciones a más de 15 mil vehículos ostensiblemente contaminantes</li> <li>- Renovación de 3 500 unidades de R-100 e introducción de Diesel Sin, que cumplen con la normatividad más estricta del mundo</li> </ul>
Óxido de nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introducción de vehículos nuevos con convertidor catalítico de tres vías, a partir de 1991</li> <li>- Conversión a gas del transporte de carga y microbuses, con uso obligado de convertidor catalítico de tres vías</li> <li>- Ampliación del Sistema de Transporte Colectivo Metro</li> <li>- Reconstrucción y ampliación del Sistema de Transporte Eléctrico</li> <li>- Continuación del Programa "Hoy no Circula" (a partir de 1989)</li> <li>- Mejoramiento de procesos de combustión e instalación de equipos de control en establecimientos de servicios</li> </ul>
Ozono (precursores: hidrocarburos y óxidos de nitrógeno)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificación vehicular obligatoria, lo que reduce en 59% los hidrocarburos de los vehículos a gasolina</li> <li>- Oxigenación de gasolinas con éter metil terbutílico (MTBE), reduce 11% la emisión de hidrocarburos en el escape</li> <li>- Producción de gasolinas reformuladas, menos tóxicas y reactivas en la atmósfera</li> <li>- Introducción de convertidores catalíticos en vehículos 1991 y posteriores, que reducen los óxidos de nitrógeno 60% y los hidrocarburos en el escape 90 por ciento</li> <li>- Instalación de techos flotantes en los tanques de almacenamiento de PEMEX y construcción de plantas de licuefacción de vapores para recuperar los vapores de las gasolinas</li> <li>- Conversión de vehículos de uso intensivo a gas licuado de petróleo, eliminando 68% las emisiones evaporativas de hidrocarburos durante la carga del tanque</li> <li>- Verificación obligatoria de emisiones industriales</li> </ul>

**Fuente: CMPCCAVM; 1994.**

Para enero de 1996 la verificación vehicular sólo se podrá efectuar en macrocentros de verificación, con analizadores de gases computarizados y con medición de pruebas dinámicas que simulan condiciones de movimiento en los vehículos que están siendo verificados, asegurando una mayor confiabilidad al proceso.

La verificación vehicular obligatoria es una acción enfocada a controlar las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos este último precursor de ozono. Los efectos que tiene la verificación obligatoria van desde la formación de una conciencia ambiental y social sobre la importante contribución que realiza el automóvil en la generación de contaminantes atmosféricos, hasta la responsabilidad de contribuir al mejoramiento del ambiente.

Adicionalmente, es de especial interés el contenido de benceno, el cual es un hidrocarburo aromático carcinogénico, así como la presión de vapor Reid, que determina el grado de evaporación de la gasolina. Desde diciembre de 1992 PEMEX estableció especificaciones para limitar el contenido de hidrocarburos reactivos en las gasolinas Nova (misma que ya salió del mercado) y Magna-Sin y que a la fecha (1998), no se ha cumplido completamente. Igualmente se limita la presión de vapor Reid y el contenido de benceno.

Para asegurar el cumplimiento de los límites permisibles en las especificaciones de las gasolinas, la Comisión Ambiental Metropolitana cuenta con un programa de control de calidad en los centros de refinación y gasolineras en el Valle de México, el cual tiene como objeto el aseguramiento del adecuado balance en la mezcla de hidrocarburos que se realiza para la formulación de gasolinas.

#### **4.- Introducción de convertidores catalíticos en vehículos 1991 y posteriores.**

Actualmente, los vehículos nuevos de gasolina y diesel que se distribuyen en México deben cumplir con las normas de emisión mexicanas, PEMEX, la industria automotriz y gubernamental han establecido y realizado adecuaciones tecnológicas necesarias para el cumplimiento de estas normas.

Entre las modificaciones realizadas se puede mencionar la reducción de los tamaños y peso de los vehículos, el diseño de carrocerías aerodinámicas, motores más pequeños y eficientes, encendido electrónico, sistemas computarizados de inyección de combustible al motor, válvulas para la recirculación de gases de escape introducción de compensadores altimétricos, sensores de detonación y sistemas de control de emisiones contaminantes. El convertidor catalítico es un dispositivo que transforma los gases contaminantes en el escape (monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno) y los transforma termocatalíticamente en sustancias inertes tales como: agua, nitrógeno y bióxido de carbono con una gran eficiencia. Existen varios tipos de convertidores catalíticos disponibles en el mercado, que difieren principalmente por el material con que están contruidos y el elemento activo o catalizador que contienen.

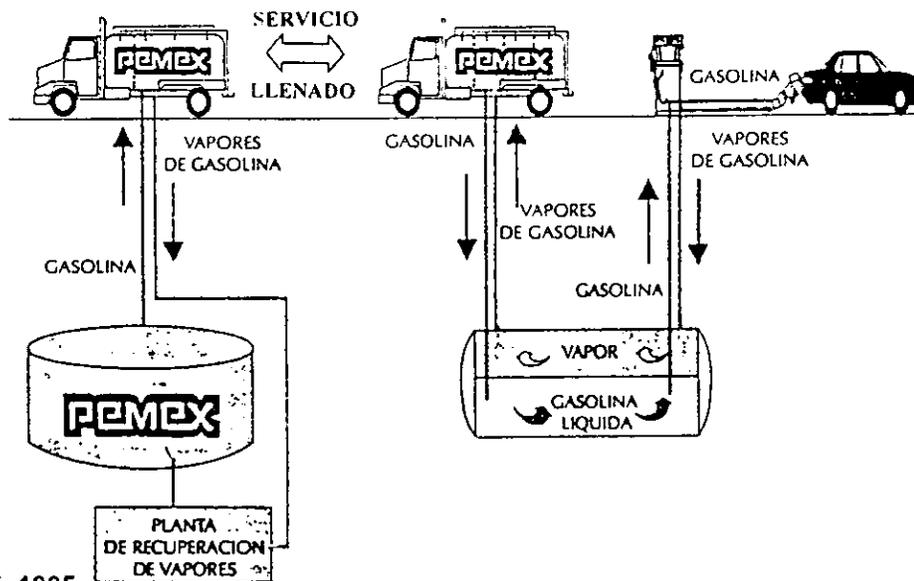
#### **5.- Instalación de techos flotantes en los tanques de almacenamiento de PEMEX y construcción de plantas de condensación de vapores para recuperar los vapores de las gasolinas.**

El programa de instalación de membranas internas flotantes comprendió 23 tanques de almacenamiento de petróleo crudo y gasolina de instalaciones de PEMEX en la exrefinería de Azcapotzalco y Añil, que evitan pérdidas por evaporación a la atmósfera en un 98%. A la fecha el programa está concluido y tuvo una inversión estimada de 1.6 millones de dólares.

La instalación de sistemas de recuperación de vapores en todo el sistema de almacenamiento, transporte y venta al público de gasolina es una estrategia para el control de las emisiones de hidrocarburos que son altamente reactivos, precursores del ozono. Algunos de estos vapores son también en exceso tóxicos. El proceso de recuperación de estos vapores constituye un ciclo cerrado integrado por las siguientes etapas:

- Sistemas que evitan que los vapores generados durante la carga de combustibles a los vehículos se emitan a la atmósfera en las estaciones de servicio, mediante su retorno a los tanques de almacenamiento.
- El trasvaciado y traslado de los vapores recuperados en los tanques de las gasolineras a las terminales de distribución, mediante camiones autotanque adecuadamente equipados para ello y, finalmente,
- La capacitación y recuperación final de los vapores en las terminales de distribución de PEMEX (fig. 4.1.)

Fig. 4.1. Circuito cerrado de recuperación de vapores.



Fuente: DDF, 1995.

Actualmente se tiene en ejecución la construcción e instalación de equipos de recuperación de vapores en las cuatro terminales de distribución con las que cuenta en el Valle de México. Las obras ya están concluidas en la terminal de San Juan Ixhuatepec, Añil y Barranca del Muerto, y en Azcapotzalco se terminaron en 1995-96. La siguiente meta es la de lograr que todas las estaciones de servicio cuenten con sistemas de recuperación de vapores, a la fecha (septiembre de 1998) solo 95 de 250 gasolineras cuentan con este sistema.

#### 6.- Conversión de vehículos de uso intensivo a gas licuado de petróleo (GLP).

El gas licuado de petróleo (LP), es una mezcla de gases, principalmente butano y propano, el gas LP puede ser almacenado, transportado y distribuido en forma líquida. Es un combustible de rápida vaporización lo cual mejora las condiciones de combustión. Es un combustible de encendido de chispa y las emisiones de hidrocarburos evaporativos, plomo, bióxido de azufre y partículas son eliminados en su totalidad. Adicionalmente, al utilizar convertidores catalíticos de tres vías, los hidrocarburos en el escape se reducen en un 90%, el monóxido de carbono en 80% y los óxidos de nitrógeno en 60%.

En febrero de 1992 se inició el programa para el uso de gas licuado de petróleo y gas natural comprimido en el autotransporte público y concesionario. Hasta agosto de 1994, se habían convertido al uso de gas LP más de 27,000 vehículos de transporte de carga y pasajeros. Los vehículos que han reconvertido el tipo de combustible a gas han recibido la liberación del programa *Hoy no circula*, como un incentivo a la inversión realizada en equipo e instalaciones de suministro, por parte de las autoridades.

Para julio de 1988 se inicia la conversión a gas de la flota vehicular del Departamento del Distrito Federal, se espera que para fin de este año se abran otros 5 estaciones de distribución de gas para vehículos automotores. En relación con la seguridad de las estaciones de distribución como de los equipos de carburación a gas diseñados e instalados conforme a las normas, compiten ventajosamente con los sistemas de carburación a gasolina o diesel, incluso en condiciones severas.

Para satisfacer la demanda de abasto de las unidades convertidas, se han construido 6 estaciones formales y 4 sitios provisionales de abastecimiento que operan bajo vigilancia y supervisión continua. Estas instalaciones permiten el abasto de 8,000 vehículos diarios. Adicionalmente, la

gran mayoría de las empresas mercantiles que han convertido sus flotillas a gas LP, han solucionado sus necesidades de suministro instalando en sus encierros estaciones de autoabasto.

### **7.- Verificación obligatoria de emisiones industriales.**

En la ZMCM existen más de 30 mil establecimientos industriales y 12 mil de servicios con algún tipo(s) de emisiones a la atmósfera. Para disminuir y controlar las emisiones de estos establecimientos, en marzo de 1992 la Comisión Metropolitana para la Prevención de la Contaminación Ambiental, por mandato presidencial, elaboró el programa para el control de emisiones provenientes de la industria en la ZMCM. El programa establece que todas las industrias ubicadas en la ZMCM deben efectuar mediciones de sus emisiones contaminantes a la atmósfera una vez al año y reportarlas a las autoridades correspondientes.

Para poder realizar lo anterior se desarrolló un calendario conforme el cual, cada giro industrial debe someter su información en un mes determinado del año. Esta acción permite obtener información actualizada de la situación de cada empresa y grupo industrial, y dar el seguimiento a los compromisos adoptados por la industria para el control de sus emisiones contaminantes. Con base a la información presentada por las industrias, el Instituto Nacional de Ecología (INE) cuenta ya con una base de datos. En abril de 1994 se contaba con el registro de 2, 838 empresas ubicadas en la ZMCM. Asimismo, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) lleva a cabo inspecciones en cada sector industrial. Durante estas inspecciones se verifica que el formato de inventario de emisiones se haya entregado en forma oportuna, que los datos reportados sea veraces y que la industria esté cumpliendo con los ordenamientos de protección al ambiente

Además del programa de verificación industrial, la PROFEPA lleva a cabo un programa de auditorías ambientales. Durante éstas, el personal de la PROFEPA analiza a fondo el funcionamiento de una empresa determinada, así como los procesos en los cuales se pueden generar fuentes de contaminación. Una auditoría es una herramienta para evaluar a fondo la operación de una empresa y puede ser hecha por la propia empresa (autoauditoría) o por un grupo auditor ambiental coordinado por un grupo supervisor. El producto de la auditoría ambiental es un resumen ejecutivo, un reporte de auditoría y un plan de acción. El resultado de una auditoría en una empresa determinada es la firma de un convenio, en el cual se establecen los plazos y costos para la solución de las deficiencias detectadas durante la realización de la auditoría ambiental.

### **8.- Reordenación y renovación del transporte en la ZMCM.**

En la ZMCM los vehículos automotores constituyen una de las principales fuentes de contaminación atmosférica, ya que son utilizados cotidianamente para mover nuestros bienes y mercancías, con toda la generación de bienestar humano que ello implica, utiliza más de 56% de nuestro consumo total de combustibles. La experiencia internacional demuestra que no existe una solución simple a los problemas de contaminación generados por el transporte y el uso de combustibles no adecuados para el área en la que se consumen. Más bien se requiere de una estrategia integral que abarque los aspectos siguientes:

- El uso de mejores gasolinas y de combustibles alternos,
- La expansión y el mejoramiento del transporte colectivo
- El desaliento del transporte individual
- La modernización del parque vehicular sobre todo en los vehículos de uso intensivo
- La introducción de tecnologías avanzadas de control de emisiones y
- La verificación periódica de sus emisiones para promover un frecuente y adecuado mantenimiento de las unidades en circulación.

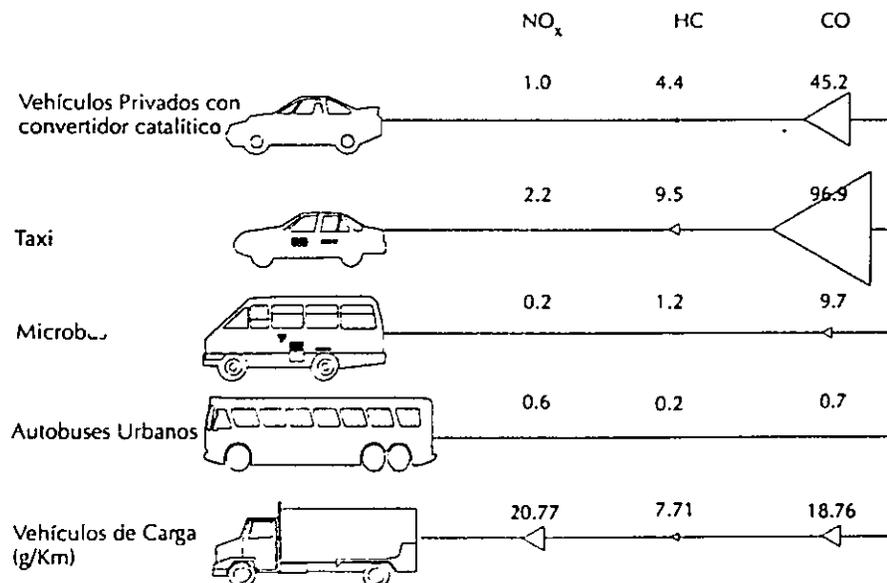
En la ZMCM se realizan cerca de 30 millones de viajes-persona cada día, en una gran diversidad de modos de transporte de pasajeros individual y colectivo. El transporte de pasajeros está constituido por el metro, los trolebuses entre los modos eléctricos, así como con automóviles

ligeros, camionetas, microbuses y autobuses con motores de combustión interna que consumen gasolina, diesel o gas. En la figura 4.2., se observa la emisión de contaminantes por tipo de modo de transporte, pasajero y kilómetro de recorrido (DDF, 1994; Comisión Metropolitana Para Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México, CMPCCAVM, 1994) Para el transporte de carga se emplean principalmente vehículos automotores, pero también corren líneas de ferrocarril y últimamente vehículos eléctricos en la zona centro de la Ciudad para la distribución de productos.

Los modos prioritarios que necesitan desarrollarse para poder cumplir con los objetivos ambientales es el uso de vehículos eléctricos, principalmente el metro o el tren ligero, los cuales circulan por vías exclusivas, tienen mayor capacidad de carga y pueden desarrollar una velocidad promedio alta. Sin embargo, su expansión es costosa y lenta. Dentro de las modalidades de transporte de superficie, el trolebús ocupa un lugar privilegiado por ser eléctrico y de gran eficiencia. Los autobuses a diesel, ya sean sencillos, articulados o biarticulados para duplicar su capacidad, son la opción más socorrida por los planificadores en transporte. Ambos pueden ser rápidos y eficientes cuando circulan en carriles exclusivos y sus rutas no se ven obstruidas por el tránsito normal de las calles. Con motores de control electrónico y diesel de alta calidad, los autobuses biarticulados en un sistema vial exclusivo que los separe del resto del tráfico vehicular, un ejemplo de esta opción lo presenta el sistema de transporte metropolitano de la Ciudad de Curitiba en Brasil, lo cual representa una alternativa de transporte atractiva, tanto económica como para el control de la contaminación (Greenpeace-México, 1994).

Como un ejemplo claro de lo que no se debe hacer en el transporte tenemos a los microbuses y las autodenominadas "combis" que según las autoridades encargadas de la planeación y transporte en la Ciudad de México son: "medios de transporte versátiles, que no sólo pueden crecer al mismo ritmo que la población por su bajo costo, fácil manejo y nulo requerimiento de espacio para su encierro causando problemas a vecinos de las calles en donde se estacionan, sino que además responden estrictamente a las necesidades de la demanda, pues entran en colonias populares, en zonas de montaña y sin pavimentar, a la vez funcionan como un sistema de alimentación a los nodos de la red de transporte suburbana y urbana de la ciudad.

**Fig. 4.2 Emisiones teóricas de contaminantes (g/pasajero por Km.).**



Este tipo de vehículos puede emitir niveles contaminantes que no cumplen las normas de emisión y son conducidos por operadores inadecuadamente preparados, lo cual es una muestra aberrante

que explica la anarquía existente en el transporte de la ciudad. Las combis y microbuses consumen aproximadamente 18% del total de la gasolina que se expende en la ZMCM, pues no obstante su reducido número, realizan múltiples viajes. Desde enero de 1991, todos los minibuses modelo 1991 en adelante han incorporado el convertidor catalítico, con esta acción se pretendió reducir la emisión de contaminantes a la atmósfera. Durante este periodo, cada mes se han sustituido en promedio 400 combis por minibuses, en 1993 se sustituyeron más de 27 mil unidades lo que significó que cada 20 minutos entrara en circulación un vehículo más moderno y saliera uno o más contaminantes y de menor capacidad. Para reforzar esta medida, de acuerdo con el Manual de Revista para el año 1992, en el Distrito Federal no se permite la circulación de combis anteriores a 1985 ni de taxis anteriores a 1987.

A diciembre de 1993, en el Distrito Federal existían más de 47 mil taxis con convertidor catalítico, que en actualidad funcionan a muy baja eficiencia o simplemente ya no funcionan y cerca de 10 mil microbuses circulan en la Zona Metropolitana con gas LP y equipos certificados de carburación a gas con convertidor catalítico de tres vías con dudosa eficiencia.

#### **9.- Ampliación del sistema de transporte colectivo METRO.**

El Metro es la alternativa de transporte menos contaminante en el Valle de México, por lo que se continúa expandiendo hacia las zonas más pobladas del área metropolitana, rebasando los límites del Distrito Federal para llegar a los municipios conurbados del Estado de México, principalmente al norte y oriente de la Ciudad. En los últimos cinco años, el metro ha aumentado su cobertura en 37 kilómetros, de los cuales, los correspondientes a la línea 8 que corre de Iztapalapa a Garibaldi entró en funcionamiento en junio de 1994. La operación de esta línea permite transportar 300 millones de pasajeros adicionales por año.

La línea B del Metro que irá de la colonia Guerrero en el centro de la Ciudad, al municipio de Ecatepec en el Estado de México, en su operación permitirá sustituir 230 autobuses, 11,160 microbuses y 18,000 vehículos particulares al día, con lo cual se estima una reducción de 4% de las emisiones contaminantes de la Ciudad de México, calculadas de manera teórica en el mejor de los casos. Se prevé que entre en operación a finales de 1998.

#### **10.- Reordenación y ampliación del sistema de transporte eléctrico.**

El sistema de transporte eléctrico del Distrito Federal (STE), se compone de trolebuses y el tren ligero a Xochimilco. En la actualidad transporta al 1% de los pasajeros de la Ciudad de México y tiene el costo más alto de pasajeros transportado de todos los sistemas de transporte público. Este modo de transporte representa una opción no contaminante y por ello es conveniente su expansión y modernización.

En 1991 se inició un programa de modernización de los transportes eléctricos, entre cuyos objetivos está la renovación del parque vehicular de la red de trolebuses. Actualmente, en la Ciudad de México operan 13 líneas de trolebuses con 350 unidades que movilizan a 310 mil personas en promedio, con una cobertura de 360 kilómetros, más 69 kilómetros auxiliares de línea elevada. Con respecto al tren ligero, durante 1992 el promedio de trenes en circulación efectiva diaria era de alrededor de 5.5 unidades que transportaban en promedio 8 mil pasajeros. Ahora operan 15 trenes en promedio que circulan a lo largo de 12.5 kilómetros de Taxqueña a Xochimilco. En la pasada administración el DDF y el STE adquirieron 12 trenes TE-90 de CONCARRIL. Estos vehículos son de fabricación nacional, con integración, tecnología y equipos alemanes y franceses. La capacidad de transporte en estos nuevos trenes es de 350 pasajeros por tren aproximadamente y viajan a una velocidad promedio de 50 kilómetros por hora. Dados sus dispositivos electrónicos, se pueden acoplar dos trenes incrementando la oferta de servicio en horas pico. Asimismo, los intervalos entre los trenes se reducirán a tres minutos con completa regularidad.

#### **11.- Continuación del programa "Hoy no circula".**

Surgido como una propuesta de la Sra. Celia Cramer "Un día sin vehículo" como un programa voluntario, el programa Hoy no circula se volvió obligatorio el 20 de noviembre de 1989. Las restricciones impuestas en el programa implican que en teoría el 20% de la flota vehicular presente en la ZMCM sale fuera de la circulación un día a la semana, dependiendo del último dígito del número de la placa del vehículo. En su primer año de aplicación el programa permitió agilizar sensiblemente el tránsito de la Ciudad, se calcula que con la aplicación de este programa se ahorraron 420 mil litros diarios de consumo total de gasolinas en el Valle de México. Estudios de tendencia de concentración de ozono para el periodo 1986-1991 con datos generados por la RAMA y el CCA demuestra que durante los años en que han estado vigentes los programas de "Un día sin auto" y la "verificación obligatoria" instituida por las autoridades no se han abatido sino por el contrario, se han elevado sobre todos los sectores de la Ciudad, en particular drásticamente en el sector suroeste.

El sector gubernamental señala que la aplicación de este programa ha sido suficiente para estabilizar la tendencia creciente de los niveles de contaminación atmosférica registrados en la Ciudad. Este incremento en los niveles de la contaminación en la ciudad podría explicarse por, un incremento marcado de las emisiones vehiculares, dado el incremento del consumo de gasolina en la ZMCM ya que a finales de 1991 se había elevado a catorce millones de litros de gasolina y cuatro de diesel diarios (Gamboa, 1991; Jáuregui, 1992). En la actualidad a partir de diciembre de 1995 se establecieron de manera temporal el programa de "dos días sin auto" en situaciones en las cuales se alcancen valores de 250 IMECAS de ozono en la ZMCM, y que incluye los fines de semanas, actualmente se está analizando los mecanismos para actualizar este programa dado el crecimiento del parque vehicular y la inoperabilidad real del programa.

## **12.- Mejoramiento de procesos de inspección en establecimientos de servicios.**

Dado que el Gobierno del Distrito Federal (DDF) tiene la atribución de realizar inspecciones en materia de contaminación atmosférica, aguas residuales, ruido y vibraciones, a todo tipo de establecimientos mercantiles, industriales y de servicio en el Distrito Federal. Estas inspecciones están a cargo de la Secretaría de Medio Ambiente del DDF y se efectúan dentro del programa de vigilancia para establecimientos prioritarios, el cual se viene desarrollando desde noviembre de 1993. Desde su inicio hasta junio de 1994, la Secretaría de Medio Ambiente atendió 777 denuncias ciudadanas de su competencia. De estas, 23% corresponden a problemas de contaminación en materia de emisiones a la atmósfera, 9% en aguas residuales, 35% en ruido y vibraciones y 33% corresponden a denuncias mixtas. Durante el mismo periodo, se llevaron a cabo 2,563 inspecciones de las cuales 55% fueron en materia de emisiones a la atmósfera, 42% al vertido de aguas residuales y 3% en materia y vibraciones de los establecimientos inspeccionados en materia de emisiones a la atmósfera solamente 5% se encontró dentro de la normatividad ambiental correspondiente. En el caso de que un establecimiento infractor reincida en las anomalías detectadas en la visita de inspección, se hace acreedor a una clausura parcial.

### **4.5. Proyectos complementarios para el control integral de la contaminación ambiental en la ZMCM.**

El problema de la contaminación del aire en México está dado principalmente por el consumo de combustibles fósiles, tanto en vehículos como en fuentes fijas, así como factores meteorológicos y fisicoquímicos, por lo que es conveniente conocer tanto los procesos de combustión como las tecnologías para el control de emisiones; con este fin se han venido desarrollando nuevas tecnologías que permiten el ahorro y uso eficiente de la energía, además de fomentar el uso de energía renovable y la rehabilitación o modernización de los sistemas de producción y transmisión de la misma. Algunos de estos proyectos se llevan a cabo en cooperación con instituciones internacionales, por ejemplo se realizan estudios conjuntos para el control y abatimiento de la contaminación atmosférica con países como Alemania, Estados Unidos, Inglaterra y Japón.

Dada la velocidad actual con que se están consumiendo los recursos no renovables en nuestro país y el mundo entero, resulta fundamental la cooperación internacional en diferentes aspectos para preservar dichos recursos, como son: el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan el ahorro y uso eficiente de la energía, fomentar el uso de la energía renovable y rehabilitar o modernizar los sistemas de producción y transmisión de la misma, así como ampliar la investigación de nuevas fuentes.

Es importante apoyar programas integrales de verificación de emisiones vehiculares, que incluyan la normatividad obligatoria de la tecnología más avanzada, fomentar el sistema de transporte colectivo (Metro), y mejorar las gasolineras y los combustibles para minimizar los productos de combustión.

También es necesario mejorar la tecnología industrial y hacer más eficiente el ciclo de producción y consumo (ciclo de vida), por lo que es necesario generar y buscar esquemas de financiamiento para que el sector industrial obtenga lo mejor en tecnología anticontaminante, así como para mejorar los programas de prevención y control de la contaminación atmosférica.

Un intento del gobierno para obtener repuestas sobre el avance de las medidas efectuadas para el control de la contaminación ambiental en la ZMCM, fue con la realización del Estudio Global de la Calidad del Aire (EGCA), el cual consistió en un proyecto de tres años (1990-1993), como un proyecto de cooperación interinstitucional e internacional, coordinado por parte de México por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) y de parte de los EUA por el Laboratorio Nacional de Los Álamos (LANL). El financiamiento estuvo a cargo, a partes iguales, de Petróleos Mexicanos (PEMEX) y el Departamento de Energía de los Estados Unidos y se contó con la colaboración de más de una docena de instituciones. Un producto derivado del EGCA es una herramienta computacional que utilizó un inventario de emisiones incompleto e inadecuado, al cual le aplicaron el modelo para simular, evaluar y comparar tanto el efecto de la calidad del aire como el impacto socioeconómico de estrategias aisladas de control de la contaminación atmosférica o de un conjunto de ellas. El modelo de simulación meteorológico se basa en primeros principios, y no en interpretaciones estadísticas, mientras que el modelo fotoquímico utilizado para la simulación híbrido, este modelo debido a la falta de información en su alimentación con una base de datos muy limitada actualmente tiene una confiabilidad muy baja (Bravo, Comunicación Personal.) .

Dentro del proyecto EGCA se realizaron las campañas de mediciones y monitoreo más intensivas que hasta la fecha se habían realizado en la ZMCM, por lo que como subproductos del proyecto se ha obtenido información que debe ser evaluada con más rigor y podría ser útil para investigaciones futuras en esta ciudad.

#### **4.6. Consideraciones preliminares.**

Tal y como se describe a lo largo del capítulo, se han llevado a cabo múltiples actividades en el ámbito de la administración y gestión de la calidad del aire en la ZMCM. Sin embargo, es necesario establecer y discutir cuáles son los problemas actuales más apremiantes y plantear las líneas de acción a seguir en los próximos años.

En primer lugar, se han logrado avances en lo referente a los inventarios de emisiones para la ZMCM, lo que permitirá contar con información de base para el diseño y desarrollo de los programas de prevención y control. Los resultados obtenidos deberán ser analizados, mejorarlos y actualizarlos continuamente.

Con relación al monitoreo de la calidad del aire, se considera que la RAMA continuará generando información que permitirá caracterizar y dimensionar los problemas de contaminación en la ZMCM. Por otra parte, la información disponible muestra que en varios de los sitios de monitoreo no siempre se cumple con las normas de calidad del aire, indicando con ello la necesidad de consolidar programas para abatir y controlar la contaminación. En estos programas, el énfasis se ha puesto en la actualización y desarrollo de la normatividad en la materia, resaltando la urgencia

de acciones orientadas al mejoramiento de los combustibles; además de la elaboración de normas complementarias como en el caso de los compuestos orgánicos volátiles (benceno y otros), y para regular actividades específicas dirigidas a los principales giros emisores de contaminantes a la atmósfera. En el caso específico de la ZMCM, si bien se observan avances sustantivos el abatimiento y control de algunos de los contaminantes, es necesario mencionar que el problema no está aún resuelto, representando todavía un reto para la sociedad en su conjunto. Será por ello necesario plantear nuevas e innovadoras líneas de acción basadas en fundamentos científicos, que cristalicen en acciones concretas, con la promoción y apoyo de la participación de universidades y centros de investigación.

## Capítulo V.

# Integración de la situación actual del deterioro ambiental de la cuenca atmosférica en la zona suroeste de la ZMCM

### 5.1. La integración de las series de datos históricos de ozono en la ZMCM.

El análisis estadístico de los índices anuales del IMECA entre 1988 y 1995 se ha realizado usando los valores IMECA disponibles. El IMECA es solo una herramienta para informar al público, sobre el estado de la contaminación en relación a la salud puede producir (DDF, 1990), como se podrá constatar, es información valiosa pero no adecuada para el diseño de mejores estrategias de gestión de la calidad del aire por lo que no es recomendable su utilización para estos fines.

Los resultados obtenidos indican que el IMECA puede descomponerse en una parte sistemática y otra aleatoria. La parte aleatoria puede representarse como una serie estacionaria en torno a la parte sistemática. Asimismo, se observa que la frecuencia de la distribución de ocurrencia de diferentes niveles del IMECA tiende a aproximarse a una normal.

Estos resultados sugieren al sector gobierno, que una estrategia para mejorar la calidad del aire de la ZMCM está asociada a un desplazamiento de la media del IMECA hacia la izquierda. Ello implica trabajar con la parte más sistemática o estable del proceso generador de información (Spanos, 1986). Asimismo, puede utilizarse la parte sistemática como una línea base que permita desplazar al conjunto del índice aprovechando que la serie tiende a ser estacionaria en torno a su parte sistemática. Esto conduce entonces a una disminución de la probabilidad de ocurrencia de eventos por encima de la norma de contingencia ambiental. Sin embargo, y atendiendo al carácter estocástico del fenómeno, no deben descartarse la presencia de eventos por encima de la norma y del nivel de contingencia ambiental. De este modo, la estrategia para mejorar la calidad ambiental de la ZMCM pretende aprovechar los patrones de comportamiento de la serie IMECA sin encontrarse exclusivamente en los casos externos que muestran un carácter fuertemente aleatorio.

La evolución del IMECA es el resultado de la interacción de un conjunto de factores en donde destacan los precursores de los diferentes contaminantes, en particular del ozono. Parece existir también en la parte sistemática del fenómeno una relación con la evolución económica de la ZMCM y por tanto con el nivel de actividad económica y el acervo y estructura vehicular.

Se puede apreciar que la serie de datos del IMECA muestra una alta variabilidad como resultado del complejo conjunto de factores que la afectan. Puede argumentarse que la parte sistemática corresponde a una media que ha tendido a modificarse a lo largo del tiempo sobre la cual se sobreponen las variaciones estacionarias. Una de las estrategias para controlar el problema de la contaminación atmosférica debe entonces de considerar las características de las series de tiempo de los datos proveniente del monitoreo continuo del ozono, tal y como se ha venido realizando pero con el objeto de disminuir las concentraciones de ozono en la ZMCM en términos más congruentes con la magnitud del problema.

### 5.2. Consideraciones sobre las acciones para el control de ozono en la ZMCM.

La evaluación del PICCA ha permitido reconocer el alcance de las acciones para el control de la contaminación del aire en la ZMCM, también se han reconocido las desviaciones que sobre las mismas se fueron generando en su instrumentación. Lo que permitió reconocer por parte de las autoridades los errores de gestión, motivo por el cual se considera en este estudio que del grueso de las medidas aplicadas para el control del ozono, no han tenido el impacto esperado para abatir las concentraciones de ozono, motivo por el cual se evalúan las acciones que fueron diseñadas para controlar el ozono en la ZMCM.

#### 1.- Verificación vehicular obligatoria, (inspección y mantenimiento, I/M).

En relación con el programa de verificación obligatoria del parque vehicular resulto ser una estrategia efectiva para el control de las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos totales (no se consideran los reactivos), pero poco efectiva para los óxidos de nitrógeno. Las normas de emisión de automotores y los procedimientos de verificación se han vuelto más estrictos para los vehículos que circulan en la ZMCM, aunque todavía existen fallas en el proceso tal y como se ha detectado el hecho de alterar las condiciones mecánicas de los vehículos modificando la relación de oxígeno en la mezcla de gasolina lo que reduce la emisión de hidrocarburos, lo anterior con el objeto de aprobar la verificación y el hecho de que hasta este momento no se consideran las emisiones de NOx, como parte de las pruebas. Una de las metas de la Comisión Ambiental Metropolitana es que para el año 2000 es que el total del parque vehicular utilice solo gasolina sin plomo y que todos cuenten con el convertidor catalítico funcionando adecuadamente.

#### 2.- Oxigenación de gasolinas con Eter ter-amil metílico (TAME) y éter metil terbutílico (MTBE).

Con la adición de 5% en volumen de éter metil terbutílico (MTBE), desde 1990 en las gasolinas el Instituto Mexicano del Petróleo se señala que esta medida ha reducido en 15% las emisiones de monóxido de carbono y en un 11% las de hidrocarburos, sin incrementar las emisiones de óxidos de nitrógeno (precursor de ozono), esto último deja a los NOx sin ningún mecanismo de control, además que se ha demostrado que mientras más MTBE, se adicione a la gasolina que se consume en la ZMCM se pueden abatir los niveles de CO y HC pero no los NOx.

#### 3.- Producción de gasolinas reformuladas, menos tóxicas y reactivas en la atmósfera.

El contenido de olefinas, aromáticos y benceno de las gasolinas mexicanas se han reducido y niveles aún por debajo de los estándares federales de los Estados Unidos de América en áreas en donde el ozono no es un gran problema (excluyendo al Estado de California), pero dadas las características de altitud, radiación y meteorología de la Cuenca de México, su impacto en la calidad del aire para contaminantes fotoquímicos no ha sido suficiente para controlar el problema, es evidente que el actor principal en la generación de ozono se debe a las características de volatilidad y reactividad de las gasolinas que se consumen en la ZMCM, las cuales aún no son las más adecuadas para solucionar esta situación.

#### 4.- Introducción de convertidores catalíticos en vehículos 1991 y posteriores.

En este caso la introducción de convertidores catalíticos en vehículos automotores modelos posteriores a 1991 ha demostrado su efectividad, pero dado el hecho que este tipo de dispositivos presentan un período de vida de aproximadamente 50,000 kilómetros o cinco años dependiendo del fabricante, en los próximos años vehículos de uso intensivo con este dispositivo empezaran a emitir concentraciones significativas de precursores de ozono a la atmósfera sin ningún control, lo cual conlleva al reemplazo de este dispositivo con las implicaciones económicas de esta reposición.

5.- Instalación de techos flotantes en los tanques de almacenamiento de PEMEX y construcción de plantas de licuefacción de vapores para recuperar los vapores de las gasolinas.

Este programa es adecuado para el control de vapores orgánicos, lo cual ha demostrado su efectividad y bajo costo de inversión, el cual se vera completado con la incorporación de los sistemas de recuperación de vapores en las estaciones de distribución, carros tanque y en las estaciones de servicio (gasolineras), esperando que sea completado antes del año 2000, cabe mencionar que se tiene un impuesto por consumo de gasolina de un centavo por litro que se vende en la ZMCM, para el fideicomiso ambiental metropolitano, que es utilizado para financiar la renovación tecnológica consistente en el reciclo de los vapores en gasolineras entre otras acciones.

6.- Conversión de vehículos de uso intensivo a gas licuado de petróleo.

En este aspecto se ha avanzado significativamente, y ha tenido un efecto positivo ya que gran parte de los vehículos de reparto y distribución de mercancía cuentan con sistemas de combustión a gas, lo que provoca la eliminación de emisiones de hidrocarburos reactivos y monóxido de carbono, por lo que en este caso se debe poner énfasis en el control de la emisión de óxidos de nitrógeno

7.- Verificación obligatoria de emisiones industriales.

En este sentido se tienen avances significativos en la generación del inventario de emisiones de la ZMCM, que permite reconocer aunque no claramente el aporte ambiental de la industria y establecer convenios de colaboración para regular su operación y procesos desde la perspectiva de la inclusión de la calidad ambiental.

8.- Reordenación y renovación del transporte en la ZMCM.

Es evidente la falta de planeación en este sector por lo cual se debe de regular y generarse instancias de representación entre autoridades, especialistas, urbanistas, concesionarios del transporte público y ciudadanos, para evaluar el actual programa integral de transporte, rebasado actualmente por una serie de deficiencias, desviaciones y corrupción por parte de las autoridades y concesionarios.

9.- Ampliación del sistema de transporte colectivo METRO.

En este aspecto el efecto es directo dado a que es un modo de transporte de emisión cero de contaminantes a la atmósfera en el interior de la ZMCM, pero en la generación de energía (caso de la termoeléctricas) existe contaminación y representa una de las preocupaciones más importantes debido a la acción de la emisión de óxidos de nitrógeno. Se debe continuar con la ampliación del sistema, además de reestructurar los sistemas alimentadores y favorecer la integración del transporte público en las zonas críticas de la Ciudad de México.

10.- Reordenación y ampliación del sistema de transporte eléctrico.

En este aspecto los efectos generados en el control de la problemática ambiental evaluada son moderados pero significativos, lo cual conlleva a su reforzamiento y consolidación por ser la alternativa de más bajo costo para el transporte en la ZMCM.

11.- Continuación del programa "Hoy no circula".

En este caso el crecimiento del parque vehicular en los últimos cinco años ha rebasado, los objetivos de los programas y acciones al respecto, al encontrarnos en este momento en las mismas condiciones que cuando se implemento. Se requieren realizar estudios serios para evaluar, reestructurar y proponer nuevas opciones a este programa. Mientras no se cuente con un transporte público eficiente, seguro, rápido y confortable en la ZMCM, el automóvil particular seguirá prevaleciendo sobre los demás modos de transporte.

12.- Mejoramiento de procesos de combustión e instalación de equipos de control en establecimientos de servicios.

En este sentido se observa un efecto significativo en el control de emisiones de HMHC y HNMHC en establecimientos de servicios de primer nivel pero se desconoce la situación de los microestablecimientos que por sus características, son difíciles de detectar y por consecuente no tienen la capacidad económica ni técnica para el control de sus emisiones.

En síntesis es importante señalar, que se han logrado avances significativos en lo referente al inventario de emisiones en la ZMCM, pero todavía se requiere de su depuración, actualización y modelación en tiempo real, que permita contar con información de base para el diseño y desarrollo de los nuevos programas de prevención y control, así como la evaluación, adecuación, mejoramiento o eliminación de los ya existentes.

El monitoreo de la calidad del aire ha demostrado ser el principal indicador del impacto de la aplicación de programas de control de contaminantes atmosféricos, se considera recomendable la expansión, modernización y consolidación de la red existente. Esta estrategia han hecho posible la caracterización y dimensionamiento de los problemas de contaminación atmosférica en la ZMCM.

Los programas aplicados demuestran en la mayoría de los casos una poca efectividad en la prevención y control de la contaminación fotoquímica en la ZMCM. Es importante remarcar que los programas que deberían tener un mayor énfasis, entre las que se destacan las acciones orientadas al mejoramiento de los combustibles, la legislación ambiental generada han permitido regular las actividades específicas dirigidas a los principales giros emisores de contaminantes a la atmósfera. En la ZMCM, es evidente que el problema no está aún resuelto, representando un reto para la sociedad en su conjunto. Por lo cual es necesario continuar y mejorar los esfuerzos en curso y la incorporación de nuevas e innovadoras líneas de acción, basadas en fundamentos técnicos y científicos, que generen acciones concretas. Para lograr esto, será necesario promover y apoyar la participación de universidades y centros e institutos de investigación.

El control de oxidantes fotoquímicos ( $O_3$ ) es un proceso muy complejo el cual aún en la actualidad involucra mucha incertidumbre. La información de calidad del aire con respecto a  $O_3$  en la estación de monitoreo del Centro de Ciencias de la Atmósfera en Ciudad Universitaria (1984-1994), muestra que dadas las características de la ZMCM, y el tipo de combustibles que se consumen es propensa a sufrir el problema de contaminación fotoquímica. Es a partir de septiembre de 1986, en que los niveles de ozono rebasan la norma de calidad del aire en una frecuencia en la que actualmente no ha sido posible controlar.

### 5.3. Discusión.

Integrando y analizando la evolución de la contaminación fotoquímica, por ozono en la ZMCM, es evidente que las tendencias siguen siendo hacia el incremento paulatino del problema aunque a una tasa menor a la de los años anteriores. También es claro que a pesar de la gran cantidad de dinero invertido, se siguen cometiendo errores que pudieron evitarse si se hubieran considerado las experiencias en el mundo sobre acciones efectuadas para controlar

esta problemática y que aún persiste una serie de contradicciones irracionales en la asignación de recursos hacia el control de la contaminación atmosférica fotoquímica en la ZMCM, así como un vacío en lo relativo a la verdadera y contundente "voluntad política" para resolver el problema.

Tomando como base los conocimientos existentes a la fecha sobre el origen, transformaciones y destino de la contaminación fotoquímica, es posible establecer los siguientes razonamientos aplicados al caso de la ZMCM.

La relación de la concentración de hidrocarburos reactivos con la concentración de óxidos de nitrógeno (HCR/NO<sub>x</sub>), ha sido reconocida finalmente en México, como herramienta para definir y entender la problemática de la producción de ozono en la atmósfera, especialmente cuando se emplea el modelo fotoquímico EKMA (EPA, 1977; Gipson et. al., 1981; Demerjian, 1984). Bajo este modelo, la producción de ozono depende de las concentraciones de HCR y NO<sub>x</sub> medidas en un sitio localizado viento arriba del lugar en donde se presenta el pico máximo de ozono después del mediodía. Este modelo ha sido incluso empleado por el Instituto Mexicano del Petróleo para tratar de justificar varias de sus medidas aplicadas al control de la contaminación por ozono y de hecho la EPA lo recomienda como criterio en una primera etapa para definir políticas de control (Demerjian, 1984; Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México, 1994b). Siguiendo el concepto del EKMA, la reducción de niveles de ozono podrá efectuarse disminuyendo tanto HCR y NO<sub>x</sub> o bien reduciendo uno de ellos en mayor proporción con respecto al otro, dependiendo de las condiciones iniciales de concentración de estos compuestos.

Adicionalmente, se sabe que el control de emisiones de HCR es preferido para abatir los niveles de ozono debido a que técnicamente y económicamente es más factible optar por esta medida que controlar los NO<sub>x</sub>. Sin embargo, decidir en términos de hasta donde se plantea la reducción requiere de un análisis muy profundo. Por ejemplo, las emisiones de NO<sub>x</sub> pueden suprimir la formación rápida de ozono en la cercanía de las fuentes, pero favorece la formación de ozono viento abajo.

Por otro lado, se debe mantener en mente que el costo de reducir cualquiera de las emisiones de ambos precursores va a estar en función de alcanzar o cumplir con la Norma de Calidad del Aire para ozono de 0.11 ppm en un día, un día al año. Como efecto secundario de esta reducción se tendrá una reducción en la concentración de partículas finas de aerosoles de nitratos y orgánicos lo cual mejorará la calidad del aire en términos de partículas menores a 10 micras, PM<sub>10</sub>.

A la fecha se sabe que la relación [HCR]/[NO<sub>x</sub>] en la ZMCM es del orden de 20 (Bravo y Torres, 1995), lo cual significa que en la atmósfera urbana se tienen concentraciones importantes de hidrocarburos reactivos. Según el modelo EKMA, para reducir una concentración típica de ozono de 0.331 ppm de la ZMCM, al nivel de la norma, se requiere o bien bajar la concentración de NO<sub>x</sub> en un 75% sin controlar HCR, o bien bajar la concentración de NMHC en un 60% sin controlar NO<sub>x</sub>. No obstante pueden hacerse combinaciones de reducciones en ambos precursores hasta llegar al óptimo.

PEMEX ha enfocado sus medidas en controlar las emisiones de hidrocarburos volátiles (terminales de almacenamiento y distribución) y debe controlar la volatilidad (RPV) de la gasolina Magna-Sin, mientras que, otra medida importante, el uso de catalizadores en automóviles post-1991, controla tanto NMHC como NO<sub>x</sub> siendo su emisión equivalente al 55 aproximadamente de todas las fuentes en la ZMCM. Esto es, la situación actual indica que la mayor reducción en ambos precursores sólo podrá enfocarse a dos sectores: transportación y producción de energía, considerando que aparte de las termoeléctricas, las estaciones de

servicios o gasolineras están relacionadas con el sector energía debido a que forman parte de las actividades de distribución del combustible de PEMEX.

Los programas de control de la contaminación ambiental en la ZMCM, no han tenido el efecto esperado debido a diversos factores, tales como lo fue en su momento el desconocer el problema calidad de aire por parte de las autoridades gubernamentales en los años ochentas, aunado a una falta de una perspectiva integral tanto técnica como científica del problema, por lo anterior se sugieren las siguientes acciones concretas para enfrentar esta problemática.

Primero, la situación económica actual obliga a dos consideraciones, no se espera una tasa de renovación de vehículos antiguos sin catalizador mayor al 2% por vehículos nuevos y no hay disponibilidad económica en la sociedad para requerir a los propietarios de vehículos pre-1991 la reconversión de sus vehículos con la instalación de convertidores catalíticos por su alto costo (del orden de 2000 dólares).

Segundo, el kilometraje acumulado en los vehículos pre-1991 (casi 700,000 vehículos en la ZMCM) es cada vez mayor y por consecuencia el deterioro del convertidor es paulatino cada vez, surgiendo la necesidad de un cambio del dispositivo que a las condiciones económicas actuales estará fuera del alcance de muchos propietarios.

Tercero, quizás, la implementación de sistemas de control de hidrocarburos en el sector industrial no podrá ser inmediata, ya que los altos costos que representan y la recesión de producción actual.

El programa propuesto para el control de la contaminación atmosférica por oxidantes fotoquímicos y sus precursores, debe enfocarse a reforzar y adecuar las medidas ya implementadas o bien que están en un avance mínimo pero que sean efectivas en controlar las causas de esta problemática bajo un concepto técnico-científico riguroso.

Bajo este escenario, la política ambiental en los próximos años debe enfocarse en medidas factibles basadas más en controlar las emisiones del parque vehicular actual el cual tiene la distribución siguiente:

Modelos 1970 y anteriores	4.4%
Modelos 1971 a 1975	7.0%
Modelos 1976 a 1980	11.8%
Modelos 1981 a 1985	18.3%
Modelos 1986 a 1990	26.6%
Modelos 1991 y posteriores	31.9%

Esto es, casi el 70% son vehículos sin catalizador que mantendrán una tasa de consumo de gasolina.

Asimismo, dado que los actuales programas estaban enfocados a un cambio virtual en el tipo y estado de los vehículos automotores por renovación de la flota y este cambio no será posible, las medidas diseñadas hacia un control en la volatilidad de la gasolina Magna-Sin y el contenido de emisiones de NMHC, deberán extenderse, con respectivo análisis técnico-científico. Además de que se podrían aplicar opciones de mejoramiento de inyección y combustión en los vehículos que aseguren una reducción en la emisión de los contaminantes y una optimización en el consumo de gasolina. Adicionalmente, algunas medidas como el uso de gas natural en termoeléctricas sólo garantizarán la reducción en bióxido de azufre y no de los NO<sub>x</sub>. se deben monitorear estas emisiones, y asegurarse el control de este contaminante en estas instalaciones.

No obstante, se deberá tener cuidado en no adicionar indiscriminadamente MTBE o TAME como aditivos en gasolinas sin plomo, e incluso se debe re-estudiar el porcentaje óptimo a adicionar para no seguir contribuyendo con emisiones de formaldehído a la atmósfera el cual es un compuesto orgánico con uno de los mayores potenciales de formación de ozono.

Sumando las acciones de reducción de HCR y NO<sub>x</sub> propuestas y aplicando el concepto básico del modelo EKMA se propone que podrá ser posible aproximarse a un nivel de ozono que, a pesar de estar aún por arriba de la Norma de Calidad del Aire respectiva, se minimizará el número o porcentaje de población expuesta, ya que se producirá un efecto de "alargamiento" de la pluma de oxidantes cuyo máximo tardará más tiempo en presentarse. Es importante señalar que establecer medidas de control simultáneas y equivalentes en eficiencia para HCR y NO<sub>x</sub> de ninguna manera garantizan una reducción de ozono, por lo que se debe tener cuidado en no dictar medidas "de la noche a la mañana" que lleven a que la química atmosférica caiga en otra situación aún más problemática. Enfocar las estrategias a controlar el ozono por abajo de la norma no debe quedar fuera del marco económico nacional actual, en especial si se busca reducir al máximo los NO<sub>x</sub>.

Finalmente, la sociedad mexicana ha sido obligada a aceptar tanto las decisiones de dirección tecnológica ambiental del gobierno como de las paraestatales (PEMEX y CFE) sin tener acceso a los datos que llevaron a esa dirección ni a la información probatoria de que las medidas aplicadas hayan sido efectivas. Por tal motivo se deben incluir en la planeación ambiental del país mecanismos que permitan a la ciudadanía el derecho a la información y que se instituya en la Legislación el concepto de crimen ambiental para vigilar a todos aquellos funcionarios responsables de tomas de decisiones y de asignación de recursos que utilicen en forma indebida el conocimiento científico para obtener algún beneficio particular o bien para liberarse de alguna responsabilidad.

## Capítulo VI.

### Conclusiones y recomendaciones.

Con el objeto de proponer acciones que tengan por objeto prevenir y controlar la contaminación fotoquímica generada por  $O_3$ , se realizó un análisis detallado de las causas, evolución, acciones de control y situación actual de esta problemática en la ZMCM, situación que es fácilmente extrapolable a otros centros urbanos del país.

Para el análisis se aplicó el conocimiento científico disponible y la experiencia de la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM (Bravo y Torres, 1995), en este campo en México, así como de la Red Automática de Monitoreo Ambiental (RAMA). La base de las propuestas surge de combinar un modelo recomendado por la EPA (usado por el IMP) para primeras etapas de control del ozono y el concepto técnico-económico de la efectividad involucrada con las actuales medidas de control propuestas, algunas de ellas con avances substanciales y con el escenario para los próximos años en términos de disponibilidad de recursos para la aplicación de medidas adicionales del control de las emisiones de los precursores de ozono: los óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) y los hidrocarburos reactivos (HCR).

Las recomendaciones propuestas son las siguientes:

1. Existe un problema ambiental grave y creciente respecto a la contaminación atmosférica por ozono en la Cuenca de México, así como en Guadalajara y Monterrey.
2. El problema de la contaminación fotoquímica afecta casi el 20% de la población nacional localizada en la ZMCM y cuya tendencia, a pesar del alto costo que han representado las medidas a la fecha implementadas sólo han llevado a que los niveles pico de ozono por arriba de 0.30 ppm disminuyan en su frecuencia de ocurrencia, manteniéndose un promedio anual mayor de 1000 horas (violaciones) a la Norma de Calidad del Aire (0.11 ppm en una hora) desde 1989.
3. Se debe aplicar medidas para el control de emisiones de los precursores de la contaminación fotoquímica  $NO_x$  y HCR acordes a corto plazo, tomando como base, tanto las condiciones de la química atmosférica presente en las zonas metropolitanas como la factibilidad de disposición de recursos económicos por parte de la población para acatar disposiciones dictadas por las autoridades de reacondicionamiento de vehículos.
4. Se debe fortalecer y aplicar en el tiempo más corto posible la reformulación de las gasolinas en términos de menor reactividad en virtud de que, al no ser posible en los próximos años la renovación de autos en su mayoría pre-1991 sin convertidor catalítico a una tasa óptima, la gasolina será consumida a la proporción actual de casi dos veces mayor por esta flota vehicular "antigua", siendo necesario asegurar que su potencial de formación de contaminantes fotoquímicos sea el menor posible.
5. El uso indiscriminado de los aditivos MTBE ha sido la causa de la emisión de formaldehído a la atmósfera en la ZMCM, el cual es un orgánico precursor de ozono muy potente, por lo que debe establecerse un porcentaje óptimo de adición a las gasolinas ponderando no tanto la reducción en la emisión de CO el cual es el principal objetivo y el cual, según las autoridades se mantiene muy bajo de la norma respectiva, sino buscando que la emisión de  $NO_x$  y de aldehídos sea la mínima factible sin sacrificar el nivel de octanaje.

6. Es necesario implementar mecanismos de vigilancia de eficiencia de convertidores catalíticos en los vehículos que ya lo tienen así como establecer programas de crédito para la reposición de aquellos dispositivos ya ineficientes, en virtud de que el kilometraje acumulado hasta la fecha y los distintos problemas de suministro de gasolina sin plomo del pasado en vehículos con alta circulación post-1991, puede ya ser problemático con relación a la poca efectividad que presentan para controlar NO<sub>x</sub> y HCR. Así como también la vigilancia a la fabricación y distribución de los convertidores catalíticos sea sin corrupción, ni participación de organismos o asociaciones con influencias políticas.
7. Al no haber posibilidades deseables de renovación del parque vehicular, se debe buscar y promover la instalación de dispositivos mecánicos de bajo costo en la flota pre-1991, y post-1991 que permitan asegurar una combustión más eficiente y como consecuencia, una menor emisión de contaminantes, además de un ahorro en el consumo del combustible. Debe promoverse otras opciones como el retro-acondicionamiento de vehículos pre-1991 con catalizadores o cambiar a gas LP.
8. Se debe acelerar la instalación de controles de vapores de combustibles en las gasolineras, ya que esta medida por si sola garantiza una reducción cercana a aproximadamente el 10% en las emisiones de HCR. Además de que no justifica realizar más estudios sobre cual tecnología es mejor, dado que son tecnologías probadas ya en otros países.
9. Se deben controlar a la brevedad posible las emisiones de NO<sub>x</sub> de las termoeléctricas localizadas en la ZMCM ya que esta es una alternativa segura de bajar las emisiones de NO<sub>x</sub> con impacto en la atmósfera urbana con lo que se favorecen las condiciones de química atmosférica de reducción de ozono.
10. Se deben establecer mecanismos y comités de vigilancia de la calidad de externos a PEMEX para asegurar que los combustibles en verdad estén cumpliendo con los requisitos de poca reactividad recomendados por países como los Estados Unidos (en sus zonas críticas fotoquímicamente) y comprometidos por la paraestatal.
11. La gasolina Magna -Sin debe ajustarse a una Presión de Vapor Reid (RPV) baja óptima a las condiciones de altitud de la Ciudad de México, recordando que es este factor físico puede hacer que, aún con una Presión de Vapor Reid (RVP) "baja", a una altitud mayor a 2000 m.s.n.m. puede ser inefectiva para controlar a nivel deseado la volatilidad. Adicionalmente, puede lograrse un abatimiento importante adicional de olefinas e isoparafinas al recomendado como óptimo con la ayuda de una mezcla de aromáticos menos reactivos y MTBE, siempre y cuando sea para uso exclusivo de vehículos equipados con convertidores catalíticos. Por otro lado, debe buscarse disminuir el contenido de benceno en las gasolinas no tanto por su potencial reactivo para formar ozono, sino por su potencial tóxico. Es necesario establecer que cada región tendrá unas características de temperatura ambiente, presión atmosférica y ventilación natural diferente, por lo que definir un estándar único de composición de gasolina reformulada sin plomo para todo el país no asegurará una reducción en la problemática fotoquímica y si puede acarrear problemas adicionales.
12. Se recomienda continuar con el programa de inspección y mantenimiento I/M estableciendo mecanismos de vigilancia más estrictos tales como la verificación externa de los macrocentros y de las unidades de verificación y una frecuencia anual de cumplimiento en vehículos de uso no intensivo, pero bianual en vehículos de uso intensivo.
13. Se debe reforzar el monitoreo de HCR en la ZMCM y en otras ciudades del país, por ser vital esta información para el desarrollo y vigilancia de estrategias de control así como el evitar que se corrompan estos sistemas.

14. Transporte público de alta capacidad (autobuses biarticulados) en vialidades que presenten una demanda mayor a los 16,000 pasajeros/hora /sentido, en horas pico.
15. Carril exclusivo central y confinado (no invadible por los automóviles) para el transporte público de alta capacidad en vialidades con alta demanda de pasajeros.
16. Creación de un fondo público y transparente (vigilado por la Asamblea Legislativa del Distrito Federal) con recursos provenientes de las ventas de automóviles, gasolinas, estacionamientos, casetas de ingresos, etcétera, para subsidiar de manera parcial el transporte público de alta capacidad.
17. Es necesario establecer la responsabilidad penal jurídica correspondiente hacia funcionarios del sector público y paraestatal para todo aquel que realice un ocultamiento, engaño, desvío de fondos o beneficio personal utilizando, manipulando o comprometiendo la administración de la calidad del aire y como consecuencia, la salud de la población.

El reducir significativamente los niveles actuales de contaminantes atmosféricos y en especial el ozono, no sólo es difícil, complejo y se magnifica cuando intervienen intereses políticos, lo que conlleva la aceptación generalizada de costos importantes con beneficios no medibles. El monitoreo de la calidad del aire permite afirmar categóricamente que el problema de la contaminación en la ZMCM es sumamente severo. Asimismo, el inventario de emisiones aunque aún deficiente, permite tener un punto de vista para visualizar la magnitud y costo del tipo de acciones que serían necesarias para disminuir progresivamente las excedencias de ozono hasta que finalmente se llegue al cumplimiento de las normas de calidad del aire.

Según los análisis de relación entre las concentraciones en la atmósfera de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles con las concentraciones resultantes no es lineal; tampoco lo es la relación entre las emisiones de contaminantes y las concentraciones observadas de ozono. El análisis de la relación existente entre las concentraciones de ozono y las emisiones de precursores se torna aún más complejo por el hecho de que cuando se habla de hidrocarburos (HC) o compuestos orgánicos volátiles (COV), se habla de numerosas sustancias de diversa reactividad y diferentes potenciales de formación de ozono.

Con esta serie de recomendaciones se busca optimizar la infraestructura existente y económicamente disponible que asegure una disminución de los niveles de ozono con una cobertura de exposición poblacional menor.

**ANEXO No. 1**

**Método de calibración por solución neutra amortiguadora de  
Yoduro de Potasio NBKI.**

## Auditoria analítica de los equipos de medición

### Calibración de la fuente de ozono.

#### Metodología.

La oxidación de una solución neutra amortiguadora de Yoduro de Potasio con relación a otra solución libre de Yodo ha sido la base de un número de técnicas de tipo manual e instrumental para la determinación y calibración de muestreadores y analizadores de ozono en el aire ambiente (Saltzman y Gilbert, 1959). El método utilizado para el presente trabajo, fue calibrado usando diluciones de ozono generadas por una cámara generadora de ozono con luz ultravioleta y un flujo de aire zero burbujeado a una solución de yoduro de potasio. La comparación de esta calibración con una obtenida usando una solución estándar de anisaldehído muestra que la producción de ozono después de la ozonólisis es de 95% (Bravo y Lodge, 1960), este método puede ser considerado como virtualmente absoluto. La absorbancia molar del producto coloreado es 35,000 en una longitud de máxima absorción (352 nm). En un flujo continuo de ocho litros de aire por minuto, una parte por billón (ppb) de ozono puede ser razonablemente detectada.

En la actualidad varias propiedades del ozono han permitido ser utilizadas como pruebas analíticas de tipo específico. De las cuales se han desarrollado las técnicas modernas de tipo automático y continuo, tales como la utilización de un fotómetro ultravioleta de luz filtrada de largo ancho de banda, el cual compara la absorción del aire en el ancho de banda en donde se encuentra la longitud de onda de mayor absorbancia de ozono (352 nm). La determinación de ozono termométricamente se lleva a cabo por la descomposición de calor de la muestra en un catalizador apropiado (McCully, et al., 1959). El método que designado como de *referencia* por la Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA) es a partir de la determinación instrumental por quimiluminiscencia en fase gaseosa entre el etileno y el ozono en el aire ambiente de la muestra. La ozonólisis es una reacción tipo del ozono, en esta reacción, una doble cadena de etilalqueno es generada a partir de la reacción con el ozono, generando la liberación de energía luminosa que es detectado por un tubo fotomultiplicador de acuerdo a lo establecido por Lambert y Beer, en donde la energía liberada es directamente proporcional a la concentración de ozono contenido en la muestra de aire.

#### Calibración primaria

##### Reactivos utilizados:

##### Químicos.

**Yoduro de Potasio**, ASC grado reactivo. Nota: Algunas fuentes de yodo y de Yoduro de Potasio ASC grado reactivo han sido reportadas con algún tipo de impurezas las cuales reducen la capacidad absorbente del reactivo. Estas impurezas pueden crear demandas significativas de yodo. El KI usado podría no tener significancia con la demanda de yodo. Para determinar esta especificación se ha encontrado, que graficando la Absorbancia de  $I_2$  versus el total de  $\mu g$  de  $O_3$  seleccionando como curva de calibración los puntos de la curva como sigue: Se determinan cinco valores obtenidos de 0.5, 1, 2, 3, y 4 ml de  $I_2$ . No se incluye el cero como un punto. Dibujar la curva utilizando un análisis de regresión lineal. Si el intercepto es significativamente diferente de cero, el KI tiene una demanda de  $I_2$  y puede ser descartada. Típicamente la intersección podrá ser en el rango de  $\pm 0.2$  a  $-0.2 \mu g O_3$

**Fosfato monobásico de hidrogeno ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )** ACS grado reactivo

**Fosfato dibásico de sodio ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ )** ACS grado reactivo

**Trióxido de arsénico ( $\text{As}_2\text{O}_3$ )** Estándar primario

**Hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ )**, ACS grado reactivo

**Ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )** AS, grado reactivo

**Almidón soluble** (para yodometría), ACS grado reactivo.

**Yoduro de mercurio ( $\text{HgI}_2$ )**, ACS grado reactivo

**Yodo resublimado ( $\text{I}_2$ )**, ACS grado reactivo

**Bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ )**, ACS grado reactivo.

**Fuente de aire zero** Se requiere de un cilindro de acero inoxidable u aluminio tratado para con aire comprimido extra seco grado zero (UN 1002), libre de  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ , de vapor de agua, humedad e hidrocarburos reactivos que puedan predecir interferencia en la generación de ozono o en la solución de 1% de NBKI (solución amortiguadora neutral de yoduro de potasio). La entrada de aire requerido para obtener el flujo deberá ser pasado por un filtro de silica gel para su secado, para tratar las posibles muestras de  $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$  el flujo de aire deberá ser pasado por un filtro de carbón activado (6-14 mallas) y un tamiz molecular (6-16 mallas, tipo 4A) para remover toda traza de  $\text{NO}_2$ , y vapor de agua. Observar que la fuente de aire zero, o tanque comprimido, el cual deberá ser purificado como se describe arriba. El paso de ozonación podrá ser eliminado cuando los niveles ambiente de no son bajos.

**Agua purificada.** Usar en todos los reactivos agua destilada y desionizada. Para destilar o desionizar el agua en todos los aparatos de destilación de vidrio, añadir un cristal de permanganato de potasio y un cristal de hidróxido de bario, y redestilar.

**Reactivo absorbente.** Disolver 13.6 g de Fosfato monobásico de hidrogeno ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), 14.2 g Fosfato dibásico de sodio ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ), o 35.8 g de sal dodecahidratada de fosfato dibásico de sodio ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ), o 26.8 g de sal heptahidratada, y 10.0 g de Yoduro de Potasio (KI) en agua purificada y diluida a 1000 ml. El pH deberá ser de  $6.8 \pm 0.2$ . La solución es estable por varias semanas, si es almacenada en un recipiente de vidrio ámbar en un lugar frio, y oscuro.

**Solución estándar de Trióxido de arsénico (0.05 N).** Usar estándar grado primario de Trióxido de arsénico ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ). Secar por una hora a  $105^\circ\text{C}$  inmediatamente antes de usar. Pesar precisamente 2.4 g de trióxido de arsénico. Disolver en 25 ml, 1 N de hidróxido de sodio en un frasco. Precaución: Estar seguro que todo el trióxido de arsénico sea disuelto. Agregar 25 ml 1 N de ácido sulfúrico. Enfriar, y transferir a un matraz volumétrico de 1000 ml, y diluir hasta el aforo. Nota: La solución podrá ser neutral, no alcalina.

**Solución indicadora de almidón (2%).** Triturar 0.4 g de almidón soluble en aproximadamente 2 mg de yoduro de mercurio (conservador) con un poco de agua caliente a punto de ebullición. Agregar la pasta 200 ml de agua caliente. Continuar calentando hasta que la solución sea clara. Esperar que enfrie y transferir a un frasco de vidrio con tapón.

**Solución estándar de yodo (0.05 N).** Disolver 5.0 g de yoduro de potasio (KI) y 3.2 g de yodo resublimado ( $I_2$ ) en 10 ml de agua purificada. Cuando el yodo se disuelva, transferir la solución a un matraz volumétrico de 500 ml y aforarlo. Almacenar la solución en un frasco de vidrio oscuro y guardar fuera de la luz, y reestandarizar cuando sea necesario.

**Estandarización.** Pipetear cuidadosamente 20 ml de la solución estándar de trióxido de arsénico dentro de un vaso erlenmeyer de 300 ml. Acidificar ligeramente con 1:10 de ácido sulfúrico, neutralizar con bicarbonato de sodio sólido, y agregar cerca de 2 g de exceso. Titular con la solución estándar de yodo como indicador. Saturar la solución con bióxido de carbono cerca al fin del punto para añadir 1 ml de 1:10 de ácido sulfúrico. Continuar con la titulación hasta la primera aparición de un color azul el cual persiste por 30 segundos.

$$\text{Normalidad } I_2 = \frac{\text{ml } As_2O_3 \times \text{Normalidad } As_2O_3}{\text{ml } I_2}$$

Estándar diluido de yodo. Inmediatamente antes de usar, pipetear 1ml de la solución estándar de yodo dentro de un matraz volumétrico de 100 ml y aforar el volumen con el reactivo absorbente.

**Procedimiento de calibración primaria** (1% de solución neutra amortiguadora de yodo potasio, NBKI).

**Curva de calibración KI.** Prepare una curva de absorbancia de varias soluciones de yodo contra equivalentes de ozono calculados como sigue:

En una serie de matraces volumétricos de 25 ml, pipetear 0.5, 1, 2, 3, y 4 ml de la solución diluida del estándar de yodo. Diluir hasta aforar a 25 ml con el reactivo absorbente. Mezclar directamente, e inmediatamente leer la absorbancia de la muestra a 352 nm contra el reactivo absorbente que nunca haya sido expuesto, como referencia. Las muestras deberán ser preparadas individualmente y leídas antes de que pasen tres minutos.

Calcular la concentración de las soluciones como el total de  $\mu\text{g } O_3$  como sigue:

$$\text{Total en } \mu\text{g } O_3 = (N) (96) (V_1)$$

N = Normalidad  $I_2$ , meq/ml.

$V_1$  = Volumen del estándar de  $I_2$ , en ml (0.5, 1, 3, 3, 4).

Gráficar la absorbancia contra el total de  $\mu\text{g } O_3$

**Calibración primaria (para el medidor y generador de ozono).**

**Generación de atmósferas de prueba.** Ensamblar el aparato como se muestra en la Fig. 1. La concentración de ozono producida por el generador puede variar por el cambio de la posición de la cubierta ajustable de la lámpara ultravioleta. Todas las veces el flujo de aire que pasa por el generador deberá ser tan grande como el flujo total requerido para el sistema de muestreo.

**Muestreo y análisis de atmósferas de prueba.** Ensamblar el tren de muestreo de KI tal y como se muestra en la Fig. 2. Usar burbujeadores de vidrio envueltos con papel aluminio para que no permita el paso de la luz, las tuberías de alimentación deberán ser de Tygon. Para la calibración primaria del instrumento, el tubo distribuidor o manifold puede muestrear simultáneamente la solución de KI del tren de muestreo y del instrumento a ser calibrado. Checar que el ensamble del sistema no tenga fugas. Registrar la respuesta de salida analógica del instrumento (Analizador Beckman Químico-luminiscente de  $O_3$  Mod. 950A) en milivolts en cada posición de la cubierta del generador de ozono (que usualmente tiene 6 posiciones). Establecer las concentraciones de ozono para el análisis, usando la solución neutral amortiguadora de yoduro de potasio como sigue:

**Blanco.** Con la lampara ultravioleta del generador de ozono apagada, limpiar el sistema por varios minutos para remover el ozono residual. Pipetear 10 ml del reactivo absorbente dentro de cada absorbedor. Abrir el flujo de aire del sistema de generación de ozono a través del tren de muestreo de 0.2 a 1 litro/minuto durante 10 minutos. Inmediatamente transferir la solución expuesta a una celda de cuarzo limpia de 1 cm. Determinar la absorbancia de cada una de las muestras a 352 nm contra el reactivo absorbente no expuesto como referencia. Adicionar las absorbancias de las dos soluciones para obtener la absorbancia total. Leer el total de  $\mu\text{g O}_3$  de la curva de calibración. Calcular el volumen total de aire muestreado corregido a las condiciones de 25°C y 760 mm de Hg como sigue:

$$V_R = V \times \frac{P}{760} \times \frac{298}{t + 273} \times 10^{-3}$$

$V_R$  = Volumen de aire a condiciones de referencia.  $\text{m}^3$

$V$  = Volumen del aire a condiciones de muestreo, litros

$P$  = Presión barométrica en condiciones de muestreo, mm Hg

$t$  = Temperatura a condiciones de muestreo, °C

$10^{-3}$  = Conversión de litros a  $\text{m}^3$

Calcular la concentración de ozono en partes por millón ppm como sigue:

$$\text{ppm O}_3 = \frac{\mu\text{g O}_3}{V_R} \times 5.10 \times 10^{-4}$$

**Curva de calibración del instrumento.** La respuesta del tubo fotomultiplicador del instrumento (Analizador Beckman Químico-luminiscente de  $\text{O}_3$  Mod. 950A) es proporcional a la salida de voltaje. Gráfica el voltaje o lectura en ppm (eje-y) por las atmósferas de prueba contra las concentraciones de ozono determinadas por el método de solución neutra amortiguadora de yoduro de potasio NBKI, en ppm (eje-x).

**Curva de calibración del generador.** La salida de ozono del generador es una función directa de la posición de la cubierta de la lampara ultravioleta. Concentraciones reproducibles pueden ser generadas durante varias semanas después de una calibración simple. Gráficar la posición de la cubierta de la lampara ultravioleta (eje-y) por la(s) atmósfera(s) de prueba determinadas por el método de solución neutra amortiguadora de yoduro de potasio NBKI, en ppm (eje-x).

**Cálculos.** Si un registrador gráfico es utilizado (Beckman Mod.1008, rango de 0-100 mvolt), previamente debe ser realineado en cero y el valor máximo de la escala al rango de 1-100 mvolt, utilizando un generador de voltaje regulado, así se podrá leer directamente la concentración de ozono representado en la carátula del analizador, la lectura podrá ser convertida a concentraciones de ozono usando la curva de calibración del instrumento. La conversión entre ppm y  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de valores para ozono puede ser realizada de la siguiente forma:

$$\text{ppm O}_3 = \frac{\mu\text{g O}_3}{\text{m}^3} \times 5.10 \times 10^{-4}$$

#### **Procedimiento general de calibración de transferencia.**

Utilizando el aparato de la Fig. 1. se producen concentraciones conocidas de ozono basadas en la curva de calibración del generador de ozono, determinada por el método de solución neutra amortiguadora de yoduro de potasio NBKI. En todas las veces, el flujo de aire que pasa a través del generador de ozono tendrá que ser mayor que el total del flujo requerido por el sistema de muestreo. La muestra de las atmósferas de prueba, debe ser enviada al manifold distribuidor y al

instrumento (Analizador Beckman Quimicoluminiscente de O<sub>3</sub> Mod. 950A) o instrumentos a ser calibrados (Analizador Thermo Environmental de fotometria ultravioleta para O<sub>3</sub> Mod. 49.).

La respuesta del registrador en milivolts (ppm o ppb) de ozono corresponderá a la representada en cada posición de la cubierta de la lampara ultravioleta del generador de O<sub>3</sub>. Gráficar el voltaje o las ppm de ozono de la lectura apropiadamente (eje-y) por la atmósfera de prueba contra la concentración de ozono de la curva de calibración del generador de ozono (eje-x).

### Procedimiento general de chequeo de ZERO y SPAN.

**Chequeo de ZERO.** Fluya una muestra de aire ZERO durante 10 minutos para obtener una lectura estable. Observar en la carátula del analizador automático la lectura en cero. Si es requerido su ajuste, realizar las correcciones necesarias en el control de ganancia de la señal de ZERO del analizador y después pruebe en la posición o función de SPAN.

**Chequeo SPAN.** Fluya una muestra de concentración conocida de ozono, se recomienda una concentración de ozono equivalente al 80 ± 5% del máximo de la escala en el rango de operación. Observar la respuesta en la carátula del analizador automático. Ajustar si es necesario, realizar las correcciones necesarias en el control de ganancia de la señal de SPAN del analizador, realizar las correcciones necesarias en el registrador y recalibrar el instrumento. Este procedimiento se deberá reproducir cuando menos tres veces después de lograr la respuesta deseada.

El chequeo del rango tanto del ZERO como del SPAN deberán ser verificados en todos los rangos empleados en operación normal. La US-EPA aprueba el rango de 0.5 ppm como el óptimo para monitoreo ambiental. Si las lecturas de ZERO cambian con diferentes rangos o diferentes concentraciones indicadas con una muestra de gas SPAN y/o ZERO, se deberá proceder a la realineación del instrumento de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante.

### Calibración de la Fuente de Ozono.

#### Cálculo de curva estándar de ozono.

$$NI_2 = \frac{\text{ml As}_2\text{O}_3}{\text{ml I}_2} \times \text{As}_2\text{O}_3$$

Entonces:

$$NI_2 = \frac{20 \text{ ml As}_2\text{O}_3 \times 0.05 \text{ N}}{18.5 \text{ ml I}_2} = 0.054$$

Para calcular la cantidad de µg O<sub>3</sub> que son necesarios para realizar la curva y se obtiene que:

$$\text{total de } \mu\text{g O}_3 = (\text{N}) (96) (\text{VI}_2)$$

N = Normalidad del I<sub>2</sub> (meq/ml)

$V_{I_2}$  = Volumen de la solución de  $I_2$  adicionada para realizar la curva (0.5, 1, 2, 3, y 4 ml)

(N)	(96)	( $V_{I_2}$ )	$\mu\text{g O}_3$
0.054	(96)	(0.5)	= 2.592
0.054	(96)	(1.0)	= 5.180
0.054	(96)	(2.0)	= 10.368
0.054	(96)	(3.0)	= 15.552
0.054	(96)	(4.0)	= 20.736

Por lo anterior los valores para gráficar la curva se representan como sigue:

ml de solución st. de $I_2$	Absorbancia	$\mu\text{g O}_3$
0.5	0.116	2.592
1.0	0.239	5.180
2.0	0.485	10.368
3.0	0.753	15.552
4.0	1.002	20.736

El coeficiente de correlación es:  $cc = 0.9999$ ;  $b = 0.3029$ ;  $m = 20.3905$   
 El flujo de aire para la calibración del generador de ozono es de 2 l/min.

Tren de Muestreo

Posición No. 1.

	Absorbancia
Burbujeador I	0.060
Burbujeador II	< límite detectable
Total	0.060 = 1.17 $\mu\text{g O}_3$

Posición No. 2.

Burbujeador I	0.1
Burbujeador II	< límite detectable
Total	0.1000 = 2.50 $\mu\text{g O}_3$

Posición No. 3.

Burbujeador I	0.180
Burbujeador II	0.007
Total	0.187 = 4.20 $\mu\text{g O}_3$

Posición No. 4.

Burbujeador I	0.250
Burbujeador II	< límite detectable
Total	0.250 = 5.60 $\mu\text{g O}_3$

Posición No. 5.

Burbujeador I	0.4
Burbujeador II	< límite detectable
Total	0.4 = 8.60 $\mu\text{g O}_3$

Corrección por presión y temperatura:

$$V_R = \frac{V \times P}{760} \times \frac{298}{t + 273} \times 10^{-3}$$

$$V_R = \frac{20 \text{ lt} \times 585}{760} \times \frac{298^\circ\text{C}}{25^\circ\text{C} + 273}$$

$$V_R = 0.01535 \text{ m}^3$$

Para la conversión de  $\mu\text{g O}_3$  a ppm de  $\text{O}_3$  se obtiene a partir de:

$$\text{ppm de O}_3 = \frac{\mu\text{g O}_3 \times 5.10 \times 10^{-4}}{V_R}$$

Posición No. 1.

$$117 \mu\text{g O}_3 / 0.1535 \text{ m}^3 \times 5.10 \times 10^{-4} = 0.038 \text{ ppm de O}_3$$

Posición No. 2.

$$2.50 \mu\text{g O}_3 / 0.1535 \text{ m}^3 \times 5.10 \times 10^{-4} = 0.083 \text{ ppm de O}_3$$

Posición No. 3

$$4.20 \mu\text{g O}_3 / 0.1535 \text{ m}^3 \times 5.10 \times 10^{-4} = 0.139 \text{ ppm de O}_3$$

Posición No. 4.

$$5.60 \mu\text{g O}_3 / 0.1535 \text{ m}^3 \times 5.10 \times 10^{-4} = 0.186 \text{ ppm de O}_3$$

Posición No. 5.

$$8.60 \mu\text{g O}_3 / 0.1535 \text{ m}^3 \times 5.10 \times 10^{-4} = 0.285 \text{ ppm de O}_3$$

## **I. Lista de Reactivos, Materiales e Insumos**

### **A) Reactivos**

Agua bidestilada  
Acido clorhídrico  
Bromuro de potasio  
Fosfato ácido de potasio  
Hidrogenofosfato disódico  
Permanganato de potasio  
Yoduro de potasio

### **B) Material de vidrio**

Celdas de espectofotometría de 10 mm y/o 50 mm  
Matraz aforado de 1000 ml  
Matraz aforado de 500 ml  
Matraz aforado de 100 ml  
Matraz aforado de 25 ml  
Perilla de 3 válvulas  
Pipeta volumétrica de 1 ml  
Pipeta volumétrica de 2 ml  
Pipeta volumétrica de 5 ml  
Pipeta volumétrica de 8 ml  
Pipeta volumétrica de 10 ml  
Pipeta volumétrica de 20 ml

### **C) Instrumentos y equipos de medición**

Bomba  
Balanza analítica  
Calibrador de gas para ozono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno  
Campana de extracción  
Cronómetro  
Flujómetro  
Espectofotómetro de luz ultravioleta y visible  
Manómetro para el cilindro de gas de aire sintético  
Medior de gases  
Termómetro de -10 a 100 grados centígrados

### **D) Matenal de conexión**

Férulas  
Manguera de latex  
Tubo de teflón de 1/4"  
Tubo de teflón de 1/8"

### **E) Material auxiliar en el análisis**

Etiquetas  
Pañuelos desechables  
Papel milimétrico

## II. Preparación de Soluciones

### 1. Solución Prueba I.

Pesar alrededor de 20 g de yoduro de potasio (KI) transferirlos cuantitativamente a un matraz aforado de 1000 ml con ayuda de pequeñas cantidades de agua bidestilada y disolver, adicionar 20 g de bromuro de potasio (KBr) con ayuda de pequeñas cantidades de agua bidestilada y disolver, adicionar 10 g de hidrogenosulfato disódico ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) ayudándose de pequeñas cantidades de agua bidestilada disolver y agregar 2.5 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  disolver y todo llevarlo al aforo empleando como disolvente agua bidestilada

El valor de pH de esta solución es de 6.8.

### 2. Solución de Referencia II (Solución de absorción).

Tomar una alícuota de 2 ml de una solución de yodo 0.1 N (0.05 mol/l) empleando para ello una pipeta volumétrica y transferirla a un matraz aforado de 100 ml y llevar al aforo empleando para ello la solución de Referencia I. Tomar una alícuota de 5 ml de la solución así preparada empleando para ello una pipeta volumétrica y transferirla a un matraz aforado de 500 ml y llevar al aforo empleando para ello la solución de Referencia I.

## III. Procedimiento

### 1. Elaboración de la Curva de Calibración. (Realizar este procedimiento por triplicado)

Tomar una alícuota de 2 ml de la solución de Referencia II, empleando para ello una pipeta volumétrica y transferirla a un matraz aforado de 25 ml y llevar al volumen empleando para ello la solución de Referencia I, mezclar perfectamente y proceder a leer su muestra a una longitud de onda de 350 nm, empleando como blanco solución de Referencia I.

Repita igual procedimiento según las condiciones siguientes:

SOLUCION	CANTIDAD DE SOLUCION DE REFERENCIA II ml	CANTIDAD DE SOLUCION FINAL ml
1	2	25
2	5	25
3	8	25
4	11	25
5	14	25
6	17	25
7	23	25

### 2. Determinación de la concentración de ozono contenido en el aire sintético.

Conectar una manguera de teflón a la salida del manómetro del cilindro del aire sintético ayudándose para ello de las férulas, el otro extremo del tubo conectarlo al calibrador de gases en la entrada que indica DRY AIR IN.

Girar la válvula de cilindro de gas de aire sintético hasta que el segundo manómetro tenga una lectura aproximada de 22,500 psi.

Girar el botón de ozono en la posición 3.

Tomar una alícuota de 25 ml de la solución de absorción empleando para ello una pipeta volumétrica de 25 ml y transferirla a un impinger de 5 orificios, una de las entradas conectarla a la bomba, la segunda entrada del impinger no. 1 conectarla a una de las entradas del impinger no. 2 el cual contiene también 25 ml de la solución de absorción y la otra entrada de este impinger se conecta a una de las entradas de la conexión de 3 vías, otra de las entradas de esta conexión conectarla a un tubo de teflón el cual se conecta a el calibrador en la entrada que indica UZA OUT, la tercera entrada se conecta a la trampa de vidrio que contiene una capa de hidróxido de sodio, una capa de sosa y una capa de algodón.

**NOTA: Para las conexiones entre los impingers y para el calibrador emplear tubo de teflón.**

Poner el botón de POWER del calibrador de gases en la posición de ON.

El botón de ZERO AIR en la posición de RUN

### 3. Determinación de la concentración de Ozono (Realizar este procedimiento por triplicado)

Conectar una manguera de teflón a la salida del manómetro del cilindro del aire sintético ayudándose para ello de las férulas, el otro extremo del tubo conectarlo al calibrador de gases en la entrada que indica UZA OUT.

Abrir la válvula del cilindro de gas de aire sintético hasta que el segundo manómetro tenga una lectura aproximada de 2250 psi.

Una vez hecho lo anterior, tomar una alícuota de 25 ml de la solución de absorción empleando para ello una pipeta volumétrica y transfírela a una botella de gas con filtro de 5 orificios, identificar éste con el no. 1, repetir el procedimiento pero identificando a esta segunda botella de gas con el no. 2.

Conectar una entrada de la botella de gas no. 1 a la entrada de una tercera botella de gas vacía, es decir sin solución, y la otra entrada de ésta última botella de gas a la salida de la bomba, la segunda entrada de esta botella, conectarlo perfectamente a una de las entradas de la botella no. 2 y la segunda entrada de esta botella de gas, a una de las entradas de una conexión de 3 vías, otra de las entradas conectarla a un tubo de teflón que se conecta a el calibrador en la entrada que indica, la tercera entrada se conecta a la trampa de vidrio que contiene una capa de algodón, una capa de hidróxido de sodio y una capa de algodón.

**NOTA: Para las conexiones entre las botellas de gas y para el calibrador emplee tubo de teflón.**

Poner el botón de POWER del calibrador de gases en la posición de ON.

### 3. Determinación de la concentración de OZONO contenido en el generador. (Realizar este procedimiento por triplicado)

Ajustar la lectura de la columna de GPT del calibrador de gases aproximadamente a 6.5 l/min.

Conectar una manguera de teflón a la salida del manómetro del cilindro del aire sintético ayudándose para ello con las férulas, el otro extremo del tubo conectarlo al calibrador de gases en la entrada que indica GPT OUT.

Abrir la válvula del cilindro de gas de ozono, hasta que el segundo manómetro tenga una lectura aproximada de 2300 psi.

Ajustar la lectura de la columna de GPT del calibrador de gases aproximadamente a 6.5 l/min.

Girar el botón del calibrador que indica OZONO en la posición no. 3.

Girar el botón de AIRE ZERO hasta la posición de RUN.

Concluido lo anterior tomar una alícuota de 20 ml de la solución de absorción empleando para ello una pipeta volumétrica y transferirla a una botella de gases con filtro poroso de forma de disco identificándolo con el no. 1, repita el procedimiento pero identificando a esta botella de gases con filtro con 5 orificios con el no. 2.

Conectar una entrada de la botella de gases no. 1 a la entrada de una tercera botella vacía es decir sin solución y la otra de esta botella a la salida de la bomba, la segunda entrada de la botella no. 1 conectarlo perfectamente a una de las entradas de la botella no. 2 y la segunda entrada de esta botella, a una de las entradas de una conexión de 3 vías, otra de las entradas conéctela a un tubo de teflón que se conecta a el calibrador de gases en la entrada que indica GPT OUT, la tercera entrada se conecta a la trampa de vidrio que contiene una capa de algodón, una capa de hidróxido de sodio y una capa de algodón.

**NOTA: Para las conexiones entre las botellas de gases y para el calibrador emplee tubo de teflón.**

Ponga el botón de POWER del calibrador de gases en la posición ON

4. Condiciones de trabajo del medidor de gas.

Revisar la burbuja de calibración, de encontrarse fuera de su posición (dentro del círculo), calibrar empleando para ello las perillas de ajuste. Revisar el nivel del agua destilada, adicione, si es necesario liquid supply hasta que el nivel de agua tape la punta de la medida.

Conectar la manguera (gas in) con la entrada de la bomba (gas out).

Revisar en la parte de la bomba el medidor de flujo (Flujómetro) calibrar a 1 l/min.

Calibrar el medidor de gas de tal manera que se tenga un paso de flujo de gas sintético de 1 l/min.

- a) Registre la lectura inicial del medidor de gas en l/min.
- b) Registre la lectura de la presión atmosférica, en mBar.
- c) Registre la lectura de la temperatura de la atmósfera, en grados centígrados.
- d) Registre la lectura de la temperatura del medidor de gas, en grados centígrados.

A continuación encender la bomba y hacer pasar el gas a través de la solución de absorción durante 30 minutos. Transcurrido este tiempo, registre la lectura del medidor de Gas l/min.

Determinar la concentración de ozono contenido en las botellas de gases no. 1 y no. 2 a una longitud de onda de 350 nm, empleando como blanco de ajuste, la solución 1.

#### IV Cálculos

Con las lecturas obtenidas de la curva patrón proceda a determinar la pendiente (m) y la ordenada al origen (b) empleando para ello la ecuación de la línea recta, y el coeficiente de correlación (r).

Con las lecturas obtenidas de la solución de absorción contenida en las botellas de gas proceder a determinar la concentración de ozono contenido en el aire sintético, y en el generador de ozono.

$$CO_3 = \frac{(ABS)v * m(273 + T_{gas})}{xV(273 + T_{atm})}$$

Donde:

O<sub>3</sub> = Control de O<sub>3</sub> en µg/m<sup>3</sup>

ABS= Lectura de absorbancia de la muestra

v = Volumen empleado de la solución de absorción (25 ml)

k = Valor de la pendiente de la curva de calibración.

x = Alícuota empleada en la lectura espectrofotométrica (10 ml)

V = Volumen de la muestra de aire burbujeado en la solución de absorción en m<sup>3</sup>

T<sub>atm</sub>= Temperatura de la atmósfera en grados centígrados.

T<sub>gas</sub>= Temperatura del medidor de gas en grados centígrados.







## ANEXO No. 2.

Técnica para el análisis de  
Bióxido de Nitrógeno ( $\text{NO}_2$ )

## I. Lista de Reactivos, Materiales e Insumos

### A) Reactivos

Agua bidestilada  
Acido acético glacial  
Acido clorhídrico  
Acido sulfanílico  
Nitrato de sodio  
N-(1-Naftil) etilendiamino diclorhidrato  
Permanganato de potasio

### B) Material de vidrio

Celda para espectrofotometria de 10mm  
Conexión de 3 vías  
Frasco color ámbar de 1000 ml  
Impinger de disco  
Matraz aforado de 1000 ml  
Matraz aforado de 500 ml  
Matraz aforado de 25 ml actínicos  
Matraz de bola de fondo plano de 1000 ml  
Pipeta aforada de 1 ml  
Pipeta aforada de 1.5 ml  
Pipeta aforada de 2.0 ml  
Pipeta aforada de 3.0 ml  
Pipeta aforada de 4.0 ml  
Pipeta graduada de 100 ml  
Pipeta graduada de 1 ml  
Pipeta volumétrica de 10 ml  
Pipeta volumétrica de 50 ml  
Trampa de vidrio  
Vaso de precipitados de 1000 ml

### C) Instrumentos y Equipos de Medición

Bomba  
Balanza analítica  
Barómetro  
Calibrador de Gases para ozono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno  
Campana de extracción  
Cronómetro  
Flujómetro  
Espectrofotómetro de luz ultravioleta y visible  
Manómetro para el cilindro de gas del aire sintético  
Manómetro para el cilindro de gas de dióxido de nitrógeno  
Medidor de gases  
Termómetro de -10 a 100 grados centígrados

### D) Material de Conexión

Férulas  
Manguera de latex  
Tubo de Teflón de 1/4"  
Tubo de Teflón de 1/8"

## E) Material Auxiliar en el Análisis

Etiquetas

Pañuelos desechables

Papel milimétrico

## II. Preparación de Soluciones

### 1. Solución reactivo

Previamente calentar 400 ml de agua bidestilada y adicionarle 50 ml de ácido acético glacial.

Por separado, pesar alrededor de 5 g de ácido sulfanílico ( $C_6H_9NO_3S$ ) y transferirlos cuantitativamente a un matraz aforado de 1000 ml con la ayuda de pequeñas cantidades de agua bidestilada, adicionar la solución caliente de ácido acético y agitar hasta disolución total.

En seguida agregar 50 mg de N-(1-naftil) etilendiamino diclorhidrato  $C_{12}H_{16}Cl_2N_2$  cuantitativamente ayudándose con pequeñas cantidades de agua bidestilada, mezclar y llevar al aforo agregando más agua bidestilada.

Permitir que la solución se enfríe a temperatura ambiente, transferir la solución a un frasco color ámbar.

**NOTA: Esta solución es estable sólo por una semana**

### 2. Solución Stock

Pesar alrededor de 75 mg de nitrato de sodio y transferirlos cuantitativamente a un matraz aforado de 500 ml, con ayuda de pequeñas cantidades de agua bidestilada, disolver y llevar al aforo empleando el mismo disolvente.

### 3. Solución Patrón de Referencia I.

**NOTA: Esta solución se emplea para determinar concentraciones de  $0.2 \text{ mg/m}^3$  de  $NO_2$ .**

Tomar una alícuota de 10 ml de solución Stock empleando para ello una pipeta volumétrica y transferir la muestra a un matraz aforado de 1000 ml, llevar al aforo empleando para ello agua bidestilada.

Un mililitro de esta solución Patrón de Referencia 1.5 mcg de  $NaNO_2$  que equivalen a 1.00 mcg/ $NO_2$ .

### 4. Solución Patrón de Referencia II.

**NOTA: Esta solución se emplea para determinar concentraciones hasta de  $1 \text{ mg/m}^3$  de  $NO_2$ .**

Tomar 50 ml de la solución Stock empleando para ello una pipeta volumétrica y transferir esta cantidad a un matraz aforado de 1000 ml, llevar al aforo empleando para ello agua bidestilada.

Un ml de la solución Patrón de Referencia II contiene 7.5  $\mu\text{g}$  de  $NaNO_2$ , que equivalen a 5  $\mu\text{g}$  de  $NO_2$ .

### III. Procedimiento

1. Elaboración de la Curva Patrón de la Solución de Referencia I.  
(Realizar este procedimiento por triplicado)

**NOTA: La curva de calibración es para un rango de hasta 0.2 mg/m<sup>3</sup> de NO<sub>2</sub>**

Tomar una alícuota de 0.5 ml de solución Patrón de Referencia I empleando para ello una pipeta graduada o bien una pipeta automática de 500 µl y transferir la muestra a un matraz aforado de 25 ml de vidrio actínico y lleve al volumen con la solución Reactivo A.

A partir de este momento sólo cuenta con 15 minutos máximo para determinar las lecturas de cada uno de los puntos que conforman la Curva Patrón, empleando para ello un espectrofotómetro a una longitud de onda de 550 nm, empleando para el ajuste a cero la Solución Reactivo.

Repetir el mismo procedimiento anterior, pero empleando alícuotas de 1.0 ml, 1.5 ml, 2.0 ml, 3.0 ml y 4.0 ml, emplear pipetas volumétricas para ello.

2. Elaboración de la Curva Patrón de la Solución de Referencia II.  
(Realizar este procedimiento por triplicado).

**NOTA: La Curva de Calibración es para un rango de hasta 1 mg de NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.**

Tome una alícuota de 0.5 ml de la Solución Patrón de Referencia II, empleando para ello una pipeta graduada o bien pipeta automática de 500 µl y transfiera la muestra a un matraz aforado de 25 ml de vidrio actínico y lleve el volumen con la Solución Reactivo.

A partir de este momento solo cuenta con 15 minutos máximo para determinar sus lecturas en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 550 nm, ajuste a cero empleando para ello la Solución Reactivo.

Repita el mismo procedimiento anterior, pero empleando alícuotas de 1.0 ml, 1.5 ml, 2.0 ml, 3.0 ml y 4.0 ml, empleando pipetas volumétricas para ello.

2. Determinación de la concentración de dióxido de nitrógeno contenido en el aire sintético.  
(Realizar este procedimiento por triplicado).

Conectar una manguera de teflón a la salida del manómetro del cilindro del aire sintético ayudándose para ello de las férulas, el otro extremo del tubo conectarlo al Calibrador de Gases en la entrada que indica DRY AIR IN.

Abrir la válvula del cilindro de gas de aire sintético hasta que el segundo manómetro tenga una lectura aproximada de 2,000 psi.

Ajustar las lecturas de la columna de GPT, el indicador negro a 4.7 l/min y 2.6 l/min el indicador plateado.

Ajustar la lectura de GAS PHASE TITRATION aproximadamente a 5.0 psi.

Una vez hecho lo anterior, tomar una alícuota de 20 ml de la solución de absorción empleando para ello una pipeta volumétrica y transferirla a un impinger de disco, identificar éste con el no. 1, repetir el procedimiento pero identificando a éste otro impinger con el no. 2.

Conectar una entrada del impinger no. 1 a la entrada de un tercer impinger vacío, es decir sin solución, y la otra entrada de éste último impinger a la salida de la bomba la segunda entrada de este impinger, conectarlo perfectamente a una de las entradas del impinger no. 2 y la segunda

entrada de este impinger, a una de las entradas de una conexión de 3 vías, otra de las entradas conectarla a un tubo de teflón que se conecta a el calibrador en la entrada que indica UZA OUT, la tercera entrada se conecta a la trampa de vidrio que contiene una capa de algodón, una capa de hidróxido de sodio y una capa de algodón.

**NOTA: Para las conexiones entre las botellas de gas y para el calibrador emplee tubo de teflón.**

Poner el botón de POWER del Calibrador de Gases en la posición de ON.

3. Determinación de la concentración de dióxido de nitrógeno contenido en el gas de dilución.  
(Realizar este procedimiento por triplicado)

Conectar una manguera de teflón a la salida del manómetro del cilindro del aire sintético ayudándose para ello con las férulas, el otro extremo del tubo conectarlo al Calibrador de Gases en la entrada que indica DRY/HC FREE.

Abrir la válvula del cilindro de gas de dióxido de nitrógeno, hasta que el segundo manómetro tenga una lectura aproximada de 17,000 PSI.

Ajustar la lectura de la columna de GPT del calibrador de gases aproximadamente a 6.5 l/min.

Girar el botón dilución de GAS PHASE TITRATION hasta tener una lectura de 5 PSI. Ajustar asimismo la columna de HC hasta obtener con el indicador negro una lectura de 5 y el indicador plateado en una lectura de 2.7.

Conectar la manguera de teflón a la salida del manómetro del cilindro de gas de dióxido de nitrógeno ayudándose para ello de las férulas, el otro extremo del tubo conectarlo al calibrador de gases en la entrada que indica GAS 1.

Girar la válvula del cilindro de gas de dióxido de nitrógeno hasta que el segundo manómetro tenga una lectura aproximada de 5000 KPA.

Concluido lo anterior tomar una alícuota de 20 ml de la solución de absorción empleando para ello una pipeta volumétrica y transferirla a una botella de gases con filtro poroso de forma de disco identificándolo con el no. 1, repita el procedimiento pero identificando a esta botella de gases con filtro poroso de forma de disco con el no. 2.

Conectar una entrada de la botella no. 1 a la entrada de una tercera botella vacía, es decir sin solución y la otra entrada de esta botella a la salida de la bomba, la segunda entrada de la botella no. 1 conectarlo perfectamente a una de las entradas de la botella no. 2 y la segunda entrada de esta botella, a una de las entradas de una conexión de 3 vías, otra de las entradas conéctela a un tubo de teflón que se conecta a el calibrador de gases en la entrada que indica GPT OUT, la tercera entrada se conecta a la trampa de vidrio que contiene una capa de algodón, una capa de hidróxido de sodio y una capa de algodón.

**NOTA: Para las conexiones entre las botellas de gases y para el calibrador emplee tubo de teflón.**

Poner el botón de POWER del calibrador de gases en la posición de ON.

4. Condiciones de Trabajo del Medidor de Gas.

Revisar la burbuja de calibración, de encontrarse fuera de su posición (dentro del círculo), calibrar empleando para ello los tornillos niveladores.

Revisar el nivel del agua destilada, adicionar, si es necesario Liquid Supply hasta que el nivel del agua tape la punta de la medida.

Conectar la manguera (Gas in) con la entrada de la bomba (Gas out).

Revisar en la parte de la bomba el medidor de flujo (flujómetro) calibrar a 1 l/minuto.

Enseguida calibrar el medidor de gas de tal manera que se tenga un paso de flujo de gas sintético de 1 l/min.

- a) Registre la lectura inicial del medidor de gas en l/min.
- b) Registre la lectura de la presión atmosférica, en mBar.
- c) Registre la lectura de la temperatura de la atmósfera, en grados centígrados.
- d) Registre la lectura de la temperatura del medidor de gas, en grados centígrados.

Encender la bomba y hacer pasar el gas a través de la solución de absorción durante 30 minutos. Transcurrido este tiempo, registrar la lectura del medidor de gas l/min.

Proceder a determinar la concentración de dióxido de azufre contenido en los impingers no. 1 y no. 2 a una longitud de onda de 550 nm, empleando como blanco de ajuste agua bidestilada. Emplear celdas de una capacidad de 10 mm.

#### IV. Cálculos

Con las lecturas obtenidas de la Curva Patrón determinar la pendiente (m) y la ordenada al origen (b) empleando para ello la ecuación de la línea recta, y el Coeficiente de Correlación (r).

Con las lecturas obtenidas de la solución de absorción contenidas en las botellas de gas determinar la concentración de dióxido de nitrógeno contenido en el aire sintético y en el gas de dilución empleando para ello la siguiente fórmula.

$$C_{NO_2} = \frac{k(ABS)v(273 + T_{gas})}{x * (273 + T_{atm})}$$

Donde:

C NO <sub>2</sub> =	Concentración de NO <sub>2</sub> atmosférico en µg/m <sup>3</sup>
ABS =	Lectura de absorbancia de la muestra
v =	Volumen empleado de la solución de absorción (20 ml)
k =	Valor de la pendiente de la curva de calibración
x =	Alícuota empleada en la lectura espectrofotométrica (10 ml)
V =	Volumen de la muestra de aire burbujeado en la solución de absorción en ml
T <sub>atm</sub> =	Temperatura de la atmósfera en °C.
T <sub>gas</sub> =	Temperatura del medidor de gas en °C.

### **Anexo 3.**

## **Auditoría analítica para monitores automáticos de O3 y NO2**

# LISTA DE VERIFICACION DEL OPERADOR

Operador \_\_\_\_\_ Mes \_\_\_\_\_ Sistemas \_\_\_\_\_

Marca "Si" o "No" en los espacios en blanco, a menos que se pida contestar una pregunta en específico.

FECHA

<b>ANALIZADOR TECO 49 O<sub>3</sub></b>							
I. Flujo de la ceida A? Flujo correcto							
II. Flujo de la ceida B? Flujo correcto							
III. Frecuencia de la ceida A?							
IV. Frecuencia de la ceida B?							
V. Ruido en la ceida A?							
VI Ruido en la ceida B?							
VII. Cuando fue cambiado por última vez el carbón activado?							
VIII. Cuando fue cambiado por última vez el filtro de entrada (fecha)?							
<p style="text-align: center;"><b>COMENTARIOS</b></p> <p>Si alguna parte del sistema no esta operando correctamente, incluir las observaciones en esta sección de comentarios (anotar fecha y hora).</p>							

# LISTA DE VERIFICACION DEL OPERADOR

Operador \_\_\_\_\_ Mes \_\_\_\_\_ Sistemas \_\_\_\_\_

Marca "S" o "No" en los espacios en blanco, a menos que se pida contestar una pregunta en específico.

FECHA							
<b>VERIFICACION GENERAL DEL SISTEMA</b>							
I. Líneas de muestreo limpias, libres de agua y conectadas a sus analizadores correspondientes?							
II. Múltiples de muestreo limpio y trampas de agua secas?							
III. Está trabajando el extractor?							
IV. Todos los analizadores están en modo de muestreo?							
V. Los promedios de los parámetros que se muestran en los últimos 5 min. están en línea? Teclee "Q" en Envicom.							
VI. Todos los valores reflejan las condiciones ambientales actuales?							
VII. Se inspeccionaron las condiciones generales de la caseta?							
<b>COMENTARIOS</b>							
Si alguna parte del sistema no está operando correctamente, incluir las observaciones en esta sección de comentarios (anotar fecha y hora).							

# LISTA DE VERIFICACION DEL OPERADOR

Operador \_\_\_\_\_ Mes \_\_\_\_\_ Sistemas \_\_\_\_\_

Marca "Si" o "No" en los espacios en blanco,  
a menos que se pida contestar una pregunta  
en específico

	FECHA						
<b>TEMPERATURA</b>							
I. Temperatura exterior							
A. El reporte de temperatura concuerda con las condiciones actuales?							
B. Si el sensor de temperatura está colocado en una probeta aspirada, funciona el aspirador?							
II. Temperatura interior							
A. Máxima							
B. Mínima							
C. El aire acondicionado funciona adecuadamente?							
1. Se ha limpiado el filtro del aire acondicionado en los últimos 30 días?							
<p style="text-align: center;"><b>COMENTARIOS</b></p> <p>Si alguna parte del sistema no esta operando correctamente, incluir las observaciones en esta sección de comentarios (anotar fecha y hora).</p>							

# HOJA DE CALIBRACION MULTIPUNTO

Estación: \_\_\_\_\_

Operador: \_\_\_\_\_

Fecha y hora: \_\_\_\_\_

Modelo instrumento: \_\_\_\_\_

No. serie: \_\_\_\_\_

Rango: \_\_\_\_\_

Calibrador: \_\_\_\_\_

No. serie: \_\_\_\_\_

Cilindro No.: \_\_\_\_\_

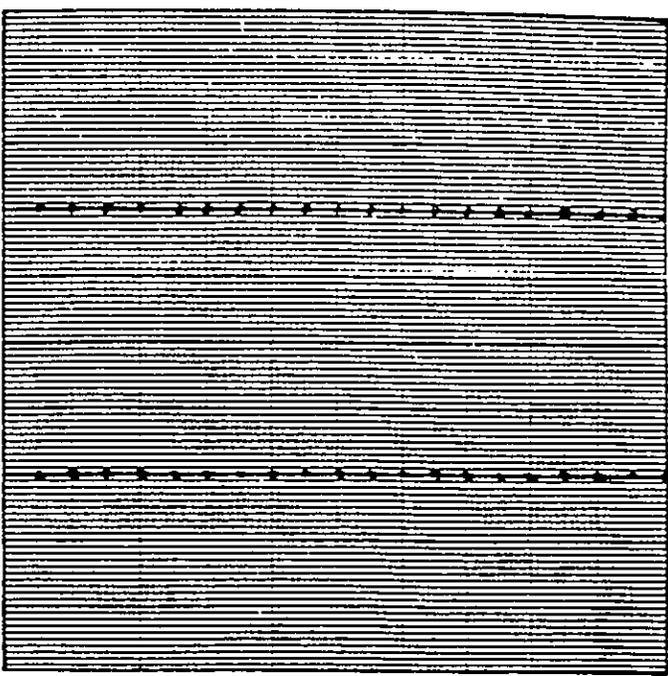
Concentración: \_\_\_\_\_ PPM

Fuente de aire cero No.: \_\_\_\_\_

P  
O  
R  
C  
E  
N  
T  
A  
J  
E  
  
D  
E  
  
D  
I  
F  
E  
R  
E  
N  
C  
I  
A

25  
20  
15  
10  
5  
0  
-5  
-10  
-15  
-20  
-25

Parametro



CONCENTRACION DE ENTRADA PPM

**DESAJUSTADO:** Recalibre si la respuesta es mayor de  $\pm 10\%$

Flujo de la Fuente CCS/M	Flujo de Dilución CCS/M	Concentración de Entrada (ppm), A	Respuesta del Analizador (ppm), B	Porcentaje de Diferencia $\left(\frac{B-A}{A}\right) \times 100 = \%$
		0.000		

**AJUSTADO:** Ajuste la respuesta del analizador a 90% de la Escala Completa

		0.000		

Comentarios: \_\_\_\_\_

## **Anexo 4.**

**Normatividad ambiental sobre monitoreo, métodos de detección y criterios de calidad del aire aplicables al ozono y dióxido de nitrógeno.**

## NORMATIVIDAD AMBIENTAL SOBRE MONITOREO DE CONTAMINANTES EN EL AIRE

En esta sección se presentan Normas Oficiales Mexicanas que establecen los métodos de medición para determinar la concentración de diversos contaminantes en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Estas normas fueron publicadas en el Diario Oficial de la Federación del día 18 de Octubre de 1993.

Con el objeto de facilitar su consulta, aparecen en estas primeras páginas aquellos elementos que son comunes a todas las normas del grupo. Tanto los elementos jurídicos de orden meramente formal, como los que, siendo de carácter técnico, rigen sin modificación para todo el grupo de normas.

Se recomienda al lector realizar la consulta como sigue:

Lea primero este apartado y en seguida dirijase al texto particular de la o las normas que en particular le interese conocer.

**Fundamento Jurídico.** Con fundamento en los artículos 32 fracción XXV de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5o. fracción VIII, 8o. fracciones II y VII, 9o. apartado A) fracción V, 36, 43, 111 fracción III, 112 fracción VI, 160 y 171 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 7o. fracciones II y VI, 42 y 43 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 43, 46, 47, 52, 62, 63 y 64 de la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización; Primero y Segundo del Acuerdo por el que se delega en el Subsecretario de Vivienda y Bienes Inmuebles y en el Presidente del Instituto Nacional de Ecología, la facultad de expedir las normas oficiales mexicanas en materia de vivienda y ecología, respectivamente, y

**Considerando.** Que la evaluación de la calidad del aire en los asentamientos humanos para efectos de difusión o información al público o cuando los resultados tengan validez oficial, requiere que los equipos de las estaciones y los sistemas de monitoreo, apliquen métodos homogéneos y confiables de medición para cada contaminante.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de proyectos de normas oficiales mexicanas, el C. Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental ordenó la publicación de los proyectos de normas oficiales mexicanas que establecen los métodos de medición para determinar la concentración para la calibración de los equipos de medición, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 23 de Junio de 1993, con el objeto de que los interesados presentaran sus comentarios al citado Comité Consultivo. .

Que la Comisión Nacional de Normalización determinó en sesión de fecha 1o. de Julio de 1993, la sustitución de las claves con que fueron publicados dichos proyectos de las normas oficiales mexicanas que aquí se presentan, por las claves que en lo subsecuente las identificarán.

Que durante el plazo de noventa días naturales contados a partir de la fecha de la publicación de dicho proyecto de norma oficial mexicana, los análisis a que se refiere el artículo 45 del citado ordenamiento jurídico estuvieron a disposición del público para su consulta.

Que dentro del mismo plazo, los interesados presentaron sus comentarios a los proyectos de norma, los cuales fueron analizados en el citado Comité Consultivo Nacional de Normalización, realizándose las modificaciones procedentes.

#### *Condiciones de referencia*

La temperatura y presión barométrica a que se deben corregir los resultados de los muestreos y análisis de un contaminante en el aire. Estas condiciones son: temperatura 298 °K (25 °C) y presión barométrica 101 kPa (760 mm de Hg).

#### *Equipo de calibración*

El dispositivo o conjunto de dispositivos que permiten establecer el patrón de referencia contra el que se compara la operación del equipo de medición.

#### *Equipo de medición*

El conjunto de dispositivos instrumentales necesarios para medir la concentración de un contaminante.

#### *Estación de monitoreo*

El conjunto de elementos técnicos diseñados para medir la concentración de contaminantes en el aire en forma simultánea, con el fin de evaluar la calidad del aire en una área determinada.

#### *Método de referencia*

El procedimiento de análisis y medición descrito en una norma oficial mexicana, que debe aplicarse para determinar la concentración de un contaminante en el aire ambiente y que sirve también, en su caso, para contrastar el método equivalente, cuando éste se haya establecido por la Secretaría.

#### *Sistema de monitoreo*

El conjunto de estaciones de monitoreo

**Símbolos, procedimientos y métodos.** La aplicación de estas normas se hará de acuerdo a los señalamientos incluidos en el texto de cada una de ellas y de sus anexos correspondientes.

**Vigilancia.** La Secretaría de Desarrollo Social por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, es la autoridad competente para vigilar el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana.

**Sanciones.** El incumplimiento de la presente norma oficial mexicana será sancionada conforme a lo dispuesto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, su Reglamento en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

**Bibliografía.** *Code of Federal Regulations* 40, Part 50, appendix C, revised July 1990, U.S.A. (Código Federal de Reglamentaciones 40, Parte 50, apéndice C, revisado en Julio de 1990, Estados Unidos de América).

**Concordancia con normas internacionales.** Algunas de estas normas oficiales mexicanas coinciden **parcialmente** con las normas extranjeras citadas en el texto de cada una de ellas.

**Vigencia.** Las presentes normas oficiales mexicanas entraron en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación del día 18 de Octubre de 1993.

**Normatividad a la que sustituyen.** Se abrogan los Acuerdos de expedición de Normas Técnicas Ecológicas que se mencionan en el texto de cada norma.

Que la Secretaría de Desarrollo Social, por conducto del Instituto Nacional de Ecología, publicó las respuestas a los comentarios recibidos en la Gaceta Ecológica, Volumen V, número especial de Octubre de 1993.

Que previa aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 23 de Septiembre de 1993, se expedieron las siguientes

**NORMAS OFICIALES MEXICANAS QUE ESTABLECEN LOS MÉTODOS DE MEDICIÓN PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE DIVERSOS CONTAMINANTES EN EL AIRE AMBIENTE Y LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN.**

En la elaboración de estas normas oficiales mexicanas participaron:

**SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL**

Instituto Nacional de Ecología

**SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E INDUSTRIA PARA ESTATAL**

Subsecretaría de Minas e Industria Básica

Comisión Nacional para el Ahorro de Energía

**DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL**

Dirección General de Proyectos Ambientales

**GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO**

Secretaría de Ecología

**PETRÓLEOS MEXICANOS**

Auditoría de Seguridad Industrial, Protección Ambiental y Ahorro de Energía

Gerencia de Protección Ambiental y Ahorro de Energía

Pemex-Gas y Petroquímica Básica

Gerencia de Seguridad Industrial y Protección Ambiental

Gerencia de Protección Ambiental

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**CONFEDERACIÓN PATRONAL DE LA REPÚBLICA MEXICANA (COPARMEX)**

**CÁMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACIÓN (CANACINTRA)**

**ENVASES ZACATECAS, S.A. DE C.V.**

**TAPAS Y TAPONES DE ZACATECAS, S.A. DE C.V.**

**PINTURAS DE LARAPLAS, S.A.**

**PROCTER & GAMBLE DE MÉXICO, S.A. DE C.V.**

**SERVICIOS PROFESIONALES EN CONTROL DE CONTAMINANTES, S.A.**

**Objeto.** Estas normas oficiales mexicanas establecen los métodos de medición para determinar la concentración de diversos contaminantes en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.

**Campo de Aplicación.** Estas normas oficiales mexicanas son de observancia obligatoria en la operación de los equipos, estaciones o sistemas de monitoreo de la calidad del aire con fines de difusión o información al público o cuando los resultados tengan validez oficial.

**Referencias.** NMX-AA-23 Terminología.

**Definiciones.** Para efectos de estas normas se asumen las definiciones que se mencionan en el texto de cada una de ellas, además de las siguientes:

*Aire Ambiente*

Atmósfera en espacio abierto.

**Proyecto de la Norma.** NOM-PA-CCAM-003/93

**Objeto** Establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono (O<sub>3</sub>) en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición.

**Campo de Aplicación.** De observancia obligatoria en la operación de los equipos, estaciones o sistemas de monitoreo de la calidad del aire con fines de difusión o información al público o cuando los resultados tengan validez oficial.

**Referencias.** NMX-AA-23

**Definiciones.***Aire cero*

El aire sometido a un proceso de depuración por métodos artificiales.

*Método equivalente*

El procedimiento de análisis y medición para determinar la concentración de un contaminante en el aire ambiente, señalado como tal en una norma oficial mexicana por producir resultados similares a los que se obtienen con el método de referencia susceptible de aplicarse en sustitución de éste.

**Símbolos**

## Notación

<i>Símbolo</i>	<i>Concepto</i>
A <sub>1</sub>	Determinación de la concentración original
A <sub>2</sub>	Determinación de la concentración diluida
c	Concentración de ozono en atm.
C	Concentración de ozono en ppm
E	Error de linealidad en por ciento
F <sub>o</sub>	Velocidad de flujo a través del generador de ozono en l/min
F <sub>d</sub>	Velocidad de flujo del aire diluyente en l/min
F <sub>z</sub>	Velocidad de flujo del aire cero en l/min
$\alpha$	Coefficiente de absorción de ozono a 254nm = $308 \pm 4$ atm <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup> a 273°K (0°C) y a 101.325 kPa (760 torr).
I	Intensidad de la luz a través de aire con ozono
I <sub>o</sub>	Intensidad de la luz a través de aire cero
l	Longitud de la trayectoria óptica en cm.
L	Factor de corrección debido a la pérdida de ozono (1 - fracción de ozono perdida)
LSR	Límite superior del rango del analizador de ozono en ppm.
[O <sub>3</sub> ] <sub>dil</sub>	Concentración diluida de ozono en ppm.
[O <sub>3</sub> ] <sub>sal</sub>	Concentración de ozono en ppm
P	Presión de la muestra en kPa (torr)
R	Razón de la dilución = flujo de la concentración original dividido entre el flujo total
T	Temperatura de muestreo en °K
Z	Respuesta del registrador con aire cero en por ciento de la escala

## Unidades

<i>Símbolo</i>	<i>Unidad</i>
atm	Atmósferas
°C	Grado Celsius
°K	Grados Kelvin
l/min	Litros por minuto
mm de Hg	Milímetros de mercurio
nm	Nanómetros
Pa	Pascales
ppm	Partes por millón

## Método de referencia

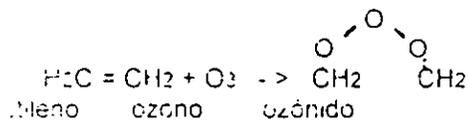
El método de referencia para determinar la concentración de ozono en el aire, ambiente, es el de luminiscencia química (Anexo 1).

Principio y descripción del método de referencia.

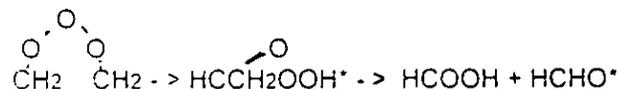
-El método de referencia se basa en la capacidad que tiene el ozono de emitir luz al reaccionar con etileno.

En este método se hace entrar simultáneamente aire y etileno a la cámara de mezclado del analizador. Ahí, el ozono presente en el aire reacciona con el etileno emitiendo una luz, que se detecta a través de un tubo fotomultiplicador. La fotocorriente resultante se amplifica y puede leerse directamente o mostrarse en un registrador, de acuerdo con la cinética de la reacción que se describe enseguida:

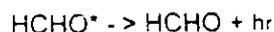
-El ozono se combina con el etileno para formar una molécula de ozónido a través de la siguiente ecuación:



-Posteriormente el ozónido se disocia en un ácido orgánico (ácido fórmico) y un formaldehído activado



-El formaldehído activado disipa su exceso de energía liberando fotones.



--La celda de reacción de la cámara de mezclado está aislada de la luz, de tal manera que se asegure que solo la luz resultante de la reacción etileno-ozono sea registrada por el tubo fotomultiplicador. El diseño de la celda es tal, que la reacción se lleva a cabo muy cerca de la ventana, por lo que se puede decir que la totalidad de la luz resultante incide en el tubo fotomultiplicador. La ventana es una pieza de plexiglas transparente que sella un extremo de la celda de reacción, permitiendo así que la luz sea transmitida al detector.

-La energía luminosa emitida por la reacción ozono-etileno es convertida a una señal eléctrica por el tubo fotomultiplicador, amplificada posteriormente y utilizada para exteriorizar la lectura de la concentración

### Equipo de medición

Para la aplicación del método de referencia se requiere de un analizador para ozono que maneje la técnica de luminiscencia química. Los principales componentes del analizador son los siguientes:

-Controladores de flujo de etileno y de la muestra.

Dispositivos que regulan la velocidad de los fluidos a través del sistema neumático del analizador.

-Celda de reacción.

Recipiente sellado en el cual se mezclan dos o más compuestos para provocar una reacción (Anexo 2).

-Sistema electrónico de detección y procesamiento de la señal.

Serie de componentes electrónicos que reciben, amplifican y procesan la señal resultante de la reacción, para convertirla en señal analógica que permita registrar mediante dispositivos especiales las lecturas del contaminante.

-Reactivos

Etileno a 99.99% de pureza.

### Calibración del equipo de medición.

El método para la calibración del analizador de ozono en el aire ambiente, aplicable tanto al método de referencia como al equivalente es el de fotometría ultravioleta y se basa en el principio fotométrico de la absorción de luz en el rango de la radiación ultravioleta por el ozono.

La concentración se determina cuando el fenómeno de absorción se acopla con los principios fotométricos de la Ley de Lambert-Beer, que establece que si un haz de luz monocromático pasa a través de un medio de intensidad con que abandone dicho medio depende exponencialmente de tres factores: el coeficiente de absorción de las moléculas en el medio, su concentración y la distancia que la luz tenga que viajar.

Esta determinación requiere del conocimiento del coeficiente de absorción (O) del ozono a 254 nm; la longitud de la trayectoria óptica (l) a través de la muestra y la transmitancia de la muestra a una longitud de onda de 254 nm.

Si todos estos factores son conocidos, la única variable que necesita ser determinada es la de la concentración, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$C = \frac{10^6}{\alpha l} \ln \frac{I_0}{I} \quad (1)$$

Donde:

C = Concentración de ozono en ppm.

$\alpha$  = Coeficiente de absorción de ozono a 254 nm =  $308 \pm 4 \text{ atm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  a 273°K (0°C) y a 101.325 kPa (760 torr).

l = Longitud de la trayectoria óptica en cm.

c = Concentración de ozono en atm.

I = Intensidad de la luz a través de aire con ozono.

$I_0$  = Intensidad de la luz a través de aire cero.

El fotómetro mide la transmitancia de la muestra y electrónicamente calcula la concentración de ozono, por medio de un microprocesador.

Para producir diversas concentraciones dentro del rango requerido, en la práctica se usa un generador estable de ozono.

Las concentraciones calculadas de ozono deben ser corregidas por las pérdidas de este gas que pueden ocurrir en el fotómetro, así como por la temperatura y la presión de la muestra.

### Método de calibración.

El principio del método de fotometría ultravioleta se basa en la generación de concentraciones de ozono en un sistema de diluciones.

La concentración de ozono en una celda de absorción, se determina a partir de la medición de la cantidad de luz en la región de 254 nm, que es absorbida por la muestra. Para determinar esto, es necesario conocer los siguientes factores:

- El coeficiente de absorción del O<sub>3</sub> a 254 nm ( $\alpha$ ).
- La longitud del trayecto óptico a través de la muestra (l).
- La transmitancia a una longitud de onda de 254 nm.
- La temperatura (T) y presión (P) de la muestra.

La relación de estas dos lecturas (I/I<sub>0</sub>) denominada transmitancia, está directamente relacionada con la concentración de ozono en la muestra, por medio de la Ley de la absorción de Lambert-Beer, en la que:

$$\text{Transmitancia } \frac{I}{I_0} = e^{-\alpha cl} \quad (2)$$

Donde:

$\alpha$  = Coeficiente de absorción del ozono =  $308 \pm 4 \text{ atm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  a 254 nm, 0°C y 760 torr.

l = Longitud de la trayectoria óptica en cm.

c = Concentración de ozono en atm.

I = Intensidad de la luz a través de aire con ozono.

$I_0$  = Intensidad de la luz a través de aire cero.

En la práctica un generador de ozono se utiliza para producir concentraciones de ozono en el rango requerido. Cada concentración de ozono se determina por la transmitancia I/I<sub>0</sub> de la muestra a 254 nm, con un fotómetro cuya longitud de la celda sea l y se calcula con la siguiente ecuación:

$$C = -\frac{10^4}{\epsilon l} \ln \frac{I}{I_0} \quad (3)$$

La concentración de ozono debe ser corregida por pérdidas del ozono que puedan ocurrir en el fotómetro y por la presión y temperatura de la muestra.

**Aplicabilidad** Este procedimiento es aplicable para la calibración de analizadores de ozono directamente o por medio de un patrón de transferencia.

El método de fotometría ultravioleta es aplicable en la calibración de analizadores de ozono en el aire ambiente, ya sea en forma directa o por medio de un patrón de transferencia certificado por este método.

### **Componentes y características de los equipos de calibración.**

La configuración del equipo debe considerar una concentración estable de ozono a la salida del sistema, así como permitir que el fotómetro mida exactamente la concentración de salida con la precisión que le ha sido especificada. En el Anexo 3 se muestra una configuración que se usa con frecuencia y sirve para ilustrar el procedimiento de calibración. Todas las conexiones entre los componentes en el sistema de calibración que estén colocadas después del generador de ozono, deben ser de vidrio, teflón o de otro material inerte. Los patrones de transferencia que contengan su propia fuente de ozono, pueden reemplazar al generador de ozono y muy posiblemente a otros componentes para su certificación.

Los principales componentes de los equipos de calibración se muestran en el Anexo 3 y deben reunir las siguientes características:

#### **-Fotómetro de luz ultravioleta.**

El fotómetro consta de una lámpara de mercurio de baja presión, un sistema óptico de enfoque (opcional), una celda de absorción, un detector y un subsistema electrónico para procesamiento de la señal (Anexo 4). Debe tener la capacidad de medir la transmitancia entre la intensidad de la luz a través de aire con ozono y la intensidad de la luz a través de aire cero ( $I/I_0$ ), para una longitud de onda de 254 nm, con la suficiente precisión para que la desviación estándar de la medición de la concentración no sea mayor a 0.005 ppm ó el 3% del valor. Debido a que la lámpara de mercurio irradia energía luminosa en varias longitudes de onda, el dispositivo debe incorporar un medio que garantice que no se genere ozono dentro de la celda y que al menos el 99.5% de la radiación detectada esté en el rango de los 254 nm. La longitud de la trayectoria que seguirá la luz dentro de la celda, debe ser conocida con un 99.5% de certeza. Además, tanto la celda como sus conectores, deben estar diseñados para minimizar la pérdida de ozono debido al contacto con las paredes de la celda y conductos de gas.

#### **-Controladores de flujo de aire.**

Dispositivos capaces de regular el flujo de aire, según se requiera para mantener la estabilidad de salida, así como de cumplir con las especificaciones de precisión para el fotómetro.

#### **-Generador de ozono.**

Dispositivo capaz de generar niveles estables de ozono en todo el rango de la concentración requerida.

#### **-Múltiple de salida.**

Este componente del sistema debe ser de vidrio, teflón o cualquier otro material inerte y debe tener un diámetro suficiente para asegurar que la caída de presión sea mínima en la conexión del fotómetro, así como en otros puertos de salida. El sistema debe contar con un desfogeo diseñado

para asegurar que la presión en el múltiple de salida, sea mayor que la atmosférica, para evitar la entrada de aire ambiente.

-Válvula de dos vías.

Válvula manual o automático o cualquier otro medio para cambiar el flujo de aire cero o con ozono que entra al fotómetro.

-Termómetro.

Debe tener una exactitud de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

-Barómetro u otro indicador de presión

Debe tener una exactitud de  $\pm 2$  torr.

-Aire cero.

### **Procedimiento de calibración.**

Operación general.

El fotómetro de calibración debe usarse únicamente como un patrón de calibración y debe utilizarse con aire cero o gases de calibración y no usarse para muestreos de aire ambiente. Dicho fotómetro debe mantenerse fijo en un laboratorio limpio y protegido de golpes, operarse adecuadamente y utilizarse como un patrón común para todas las calibraciones de campo, mediante los patrones de transferencia.

#### *Preparación del equipo de calibración.*

En la preparación del equipo de calibración se seguirán las siguientes etapas:

-Llevar a cabo todos los pasos para su instalación y ajuste descritos en el manual del fabricante.

-Verificar entre otros aspectos su integridad, limpieza, velocidades de flujo apropiados y que no presente fugas. Efectuar el mantenimiento y el reemplazo de los filtros y de los limpiadores del aire cero o de otros materiales de consumo, según sea necesario.

-Verificar que el fabricante del fotómetro establezca que el error por linealidad sea inferior a 3% o probar la linealidad por dilución como sigue: generar y ensayar una concentración de ozono que esté cercana al límite superior del rango (0.5 ó 1.0 ppm); diluir exactamente esa concentración con aire cero y volver a probarla. Repetir la operación con varias relaciones de dilución; comparar el ensayo de la concentración original con el de la concentración diluida, dividida entre la relación de dilución, como sigue:

$$E = \frac{A_1 - (A_2 / R)}{A_1} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

E = Error de linealidad en por ciento.

A<sub>1</sub> = Determinación de la concentración original.

A<sub>2</sub> = Determinación de la concentración diluida.

R = Razón de la dilución = flujo de la concentración original dividido entre el flujo total.

El error de linealidad debe ser inferior a 5%. Debido a que la exactitud de las velocidades de flujo medidas tendrá efecto sobre el error de linealidad, cuando se mide de esta manera, la prueba no es necesariamente decisiva.

-Cuando sea posible, el fotómetro debe compararse, ya sea directamente o vía patrones de transferencia con el fotómetro de calibración usado por otras dependencias o laboratorios.

-Una parte del ozono puede perderse por contacto con las paredes de la celda del fotómetro y con los componentes del sistema de manejo de los gases. La magnitud de estas pérdidas puede determinarse y ser usada para corregir la concentración de ozono calculada; la pérdida no debe exceder de 5%.

-Cuando se comience a usar el fotómetro, las etapas enunciadas en este punto, deben seguirse con frecuencia, registrando todos los resultados o indicaciones cuantitativas en un registro cronológico, ya sea en forma tabulada o graficada. A medida que se va estableciendo el registro de estabilidad del fotómetro, puede irse reduciendo la frecuencia de estos pasos, de acuerdo con la estabilidad documentada del fotómetro.

#### *Determinación de la concentración de ozono.*

Para la determinación de la concentración de ozono, se deben seguir las siguientes indicaciones:

-Dejar que el sistema del fotómetro se estabilice, en todas sus funciones.

-Verificar que la velocidad de flujo a través de la celda de absorción del fotómetro,  $F$ , permita que la celda se lave en un tiempo razonablemente corto (2 l/min es un flujo típico). La precisión de las mediciones está inversamente relacionada con el tiempo que se requiere para el lavado, ya que el error derivado del fotómetro aumenta con el tiempo.

-Asegurarse de que la velocidad de flujo dentro del múltiple de salida sea, cuando menos, 1 litro/min mayor que la suma de los flujos requeridos por el fotómetro y por cualquier otro dispositivo conectado al múltiple.

-Asegurarse de que la velocidad de flujo del aire cero ( $F_z$ ) sea cuando menos, 1 l/min mayor que la velocidad de flujo requerida por el fotómetro.

-Accionar la válvula de dos vías con el aire cero fluyendo en el múltiple de salida, de tal manera que el fotómetro muestree primero el aire cero del múltiple o sea  $F_z$ . Las dos lecturas del fotómetro deben ser iguales ( $I=I_0$ ). En este paso el generador de ozono debe estar desactivado.

En algunos fotómetros comerciales, la operación de la válvula de dos vías y otras de las operaciones indicadas pueden ser realizadas automáticamente por el fotómetro.

-Ajustar el generador de ozono para producir la concentración que se necesite.

-Accionar la válvula de dos vías, para permitir que el fotómetro muestree aire cero hasta que la celda de absorción se haya lavado perfectamente y registrar el valor estable medido de  $I_0$ .

-Accionar la válvula de dos vías, para permitir que el fotómetro muestree la concentración de ozono hasta que la celda de absorción se haya lavado perfectamente y registrar el valor estable de  $I$ .

-Registrar la temperatura y la presión de la muestra en la celda de absorción del fotómetro.

-Calcular la concentración de ozono, según la siguiente fórmula (el promedio de varias mediciones proporciona mayor precisión):

$$[O_3]_{sal} \left( -\frac{1}{\alpha l} \ln \frac{I}{I_0} \right) \left( \frac{I_0}{273} \right) \left( \frac{101.325}{P} \right) \left( \frac{10^6}{L} \right) \therefore [O_3]_{sal} = \left( -\frac{1}{\alpha l} \ln \frac{I}{I_0} \right) \left( \frac{I_0}{273} \right) \left( \frac{760 \text{ mmHg}}{P} \right) \left( \frac{10^6}{L} \right) \quad (5)$$

Donde:

$[O_3]_{sal}$  = Concentración de ozono en ppm.

$\alpha$  = Coeficiente de absorción de ozono a 254 nm = 308 atm<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> a 273°K (0°C) y a 101.325kPa (760 torr).

$l$  = Longitud del trayecto óptico en cm.

$T$  = Temperatura de muestreo en K

$P$  = Presión de la muestra en kPa.

$L$  = Factor de corrección debido a la pérdida de ozono (1 - fracción de ozono perdida).

$I_0$  = Intensidad de la luz a través de aire cero.

$I$  = Intensidad de la luz a través de aire con ozono.

-Obtener varias concentraciones de ozono como sea necesario repitiendo los pasos descritos en los cinco párrafos anteriores.

#### *Certificación de patrones de transferencia*

Un patrón de transferencia se certifica relacionando la salida del patrón a uno o más, conforme se detalla en la sección. *Determinación de la concentración de ozono*. La exactitud del procedimiento varía dependiendo de la naturaleza y diseño del patrón de transferencia.

#### *Calibración de los analizadores de ozono*

La calibración de los analizadores de ozono por el método de fotometría ultravioleta, debe hacerse utilizando patrones de ozono obtenidos en la forma que se indica en el punto anterior o por medio de un patrón de transferencia certificado. Esta calibración se debe llevar a cabo de la siguiente manera:

-Dejar pasar suficiente tiempo para que el analizador y el fotómetro o el patrón de transferencia, adquieran la temperatura adecuada de operación y se estabilicen.

-Dejar que el analizador muestre aire cero hasta que se obtenga una respuesta estable y ajustar a cero el control del analizador. Se recomienda pasar el ajuste del cero del analizador hasta +5% de la escala para facilitar la observación de una desviación del cero negativa. Registrar la respuesta estable del aire cero como "Z".

-Generar una concentración de ozono de aproximadamente 80% del límite superior del rango deseado (LSR) del analizador. Permitir que el analizador muestree esta concentración hasta que se obtenga una respuesta estable.

-Ajustar el control del rango del analizador para obtener una respuesta conveniente del registrador, como se indica a continuación:

$$\text{Respuesta del registrador} = \left( \frac{[O_3]_{sal}}{LSR} \right) \times 100 - Z \quad (6)$$

$$\% \text{ de la escala} \quad \therefore = \left( \frac{[O_3]_{sal}}{LSR} \right) \times 100 + Z$$

Donde:

LSR= Límite superior del rango del analizador de ozono en ppm.

Z = Respuesta del registrador con aire cero en por ciento de la escala. Registrar la concentración de ozono y la respuesta correspondiente del analizador. Si es necesario un ajuste importante del control del rango, verificar nuevamente los ajustes del cero y del rango, repitiendo los pasos descritos en los tres párrafos anteriores.

-Generar varias concentraciones patrones de ozono, se recomiendan cuando menos otras cinco dentro del rango de la escala del analizador, por ajuste de la fuente o por dilución de la concentración generada. En este caso se requiere mediciones exactas de flujo. El sistema de calibración dinámica puede ser modificado para permitir la medición del aire de dilución después del generador. También se requiere de una cámara de mezclado entre el generador y el múltiple de salida. La velocidad de flujo a través del generador ( $F_o$ ) y la velocidad de flujo del aire de dilución ( $F_d$ ) se miden con un patrón de flujo o de volumen confiable. Cada concentración de ozono generada por dilución se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$[O_3]_{dil} = [O_3]_{sal} \left( \frac{F_o}{F_o - F_d} \right) \quad (7)$$

Donde:

$[O_3]_{dil}$  = Concentración diluida de ozono en ppm.

$[O_3]_{sal}$  = Ozono sin diluir en ppm.

$F_o$  = Velocidad de flujo a través del generador de ozono en l/min.

$F_d$  = Velocidad de flujo del aire diluyente en l/min.

-Registrar para cada concentración patrón de ozono la correspondiente respuesta del analizador.

-Graficar las respuestas del analizador contra las concentraciones correspondientes de ozono y trazar la curva de calibración del analizador o bien calcular el factor de respuesta correspondiente.

### Método equivalente.

El método equivalente para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente, es el de fotometría en la región de radiación ultravioleta (Anexo 4).

Este método se basa en el principio fotométrico de la absorción de luz en el rango de la radiación ultravioleta por el ozono. Este principio también es aplicable al método de calibración del equipo de medición.

**SECRETARIA DE SALUD**

Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993, Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al ozono (O<sub>3</sub>). Valor normado para la concentración de ozono (O<sub>3</sub>) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.

---

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de Salud.

FILIBERTO PEREZ DUARTE, Director General de Salud Ambiental, por acuerdo del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, con fundamento en los artículos 39 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 38 fracción II, 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 80. fracción IV y 25 fracción V d. Reglamento Interior de la Secretaría de Salud.

**CONSIDERANDO**

Que con fecha 11 de Noviembre de 1993, en cumplimiento de lo previsto en el artículo 46 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Dirección General de Salud Ambiental presentó al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, el anteproyecto de la presente Norma Oficial Mexicana.

Que con fecha 18 de Enero de 1994, en cumplimiento del acuerdo del Comité y de lo previsto en el artículo 47 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se publicó en el **Diario Oficial de la Federación** el proyecto de la presente Norma Oficial Mexicana a efecto que dentro de los siguientes noventa días naturales posteriores a dicha publicación, los interesados presentarán sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario.

Que en fechas previas, fueron publicados en el **Diario Oficial de la Federación** las respuestas a los comentarios recibidos por el mencionado Comité, en términos del artículo 47 fracción III de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Que en atención a las anteriores consideraciones contando con la aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, se expide la siguiente:

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-020-SSA1-1993 "SALUD AMBIENTAL CRITERIO PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE, CON RESPECTO AL OZONO (O<sub>3</sub>). VALOR MORNADO PARA LA CONCENTRACIÓN DE OZONO (O<sub>3</sub>) EN EL AIRE AMBIENTE, COMO MEDIDA DE PROTECCION A LA SALUD DE LA POBLACION".**

**0. Introducción**

El Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994, señala que la contaminación atmosférica ha sido producto del proceso de la industrialización, así como de las grandes concentraciones urbanas, primordialmente por la emisión de humos, polvos y gases provenientes de fuentes móviles y fijas. Para prevenir, restablecer y mantener la calidad de aire, se realizarán acciones para reducir la emisión de contaminantes.

## **Cálculo del reporte**

La medición se hace en forma continua mediante el uso de procesos automatizados.

Para reportar los valores al público se calculan las concentraciones en partes por millón, en promedios por minuto y a partir de éstos, se calculan los promedios horarios reportándose el valor máximo que se haya presentado en el día.

## **Bibliografía**

*Code of Federal Regulations, 40; Part 50, appendix D, revised July 1990, U.S.A. (Código Federal de Reglamentaciones 40, Parte 50, apéndice D, revisado en Julio de 1990, Estados Unidos de América).*

## **Concordancia con normas internacionales**

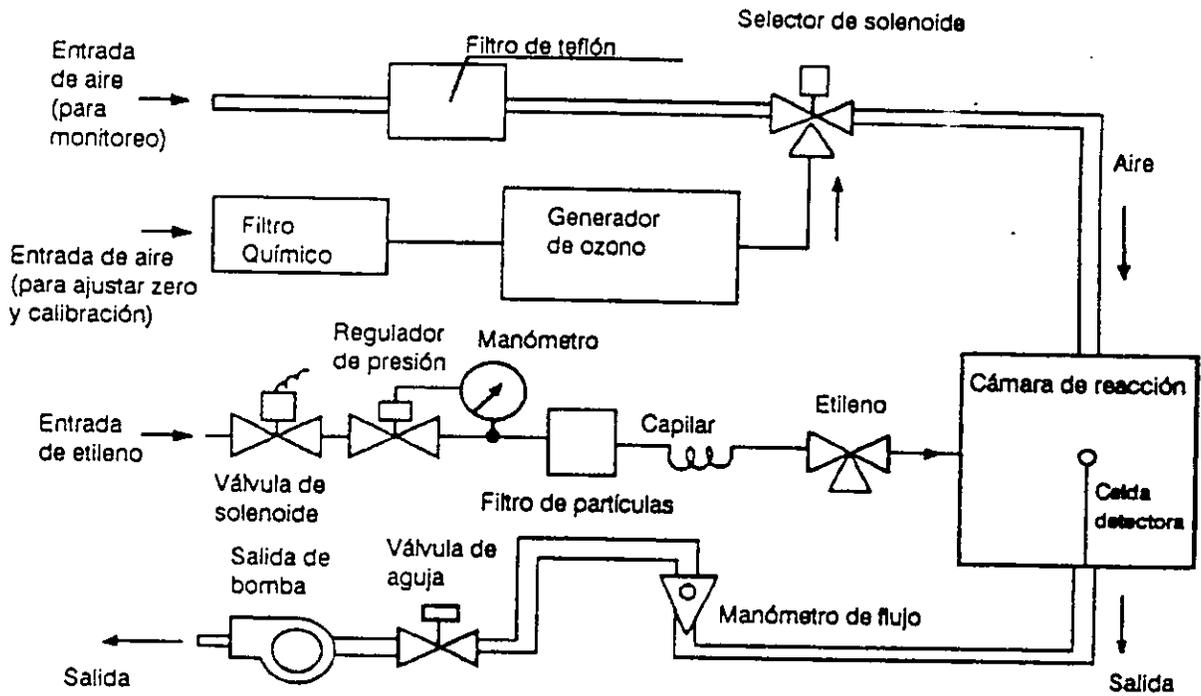
Esta norma oficial mexicana coincide totalmente con la norma contenida en el Code of Federal Regulations 40, Part 50, appendix D, revised July 1990, U.S.A. (Código Federal de Reglamentaciones 40, Parte 50, apéndice D, revisado en Julio de 1990, Estados Unidos de América).

## **Normatividad a la que sustituye**

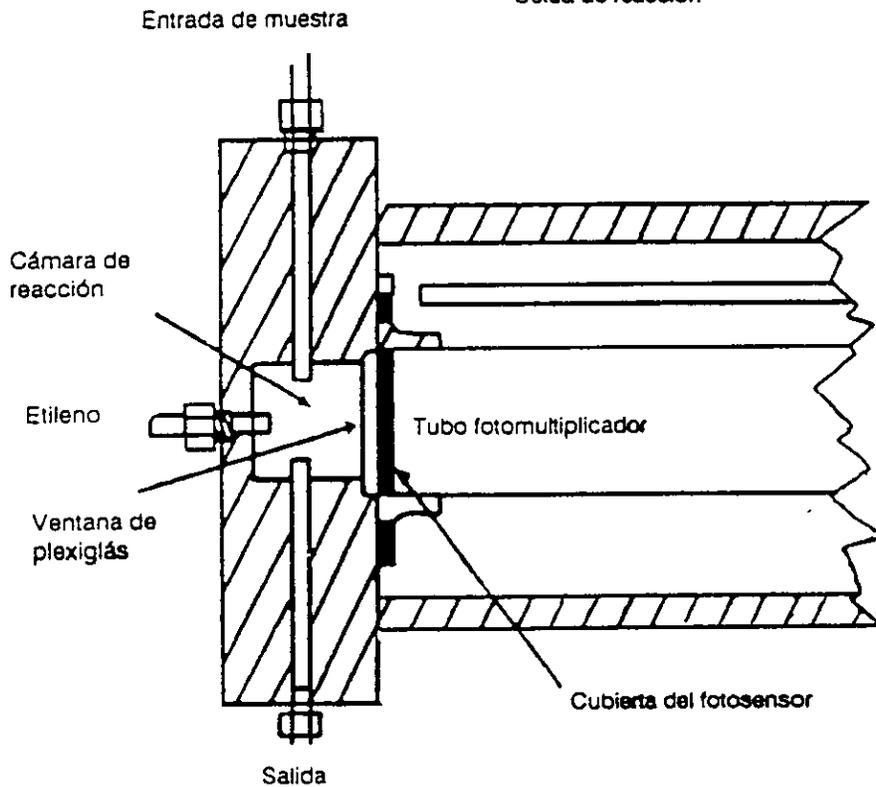
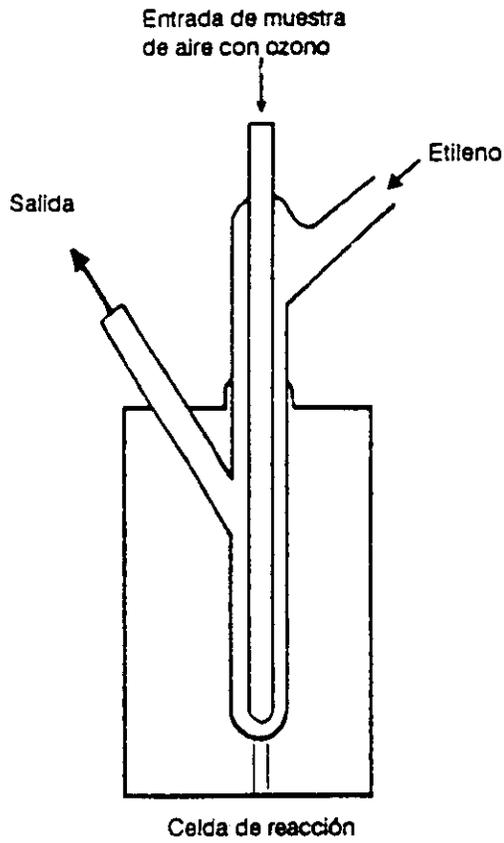
Se abroga el Acuerdo por el que se expidió la norma técnica ecológica NTE-CCAM-003/91, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 3 de Octubre de 1991.

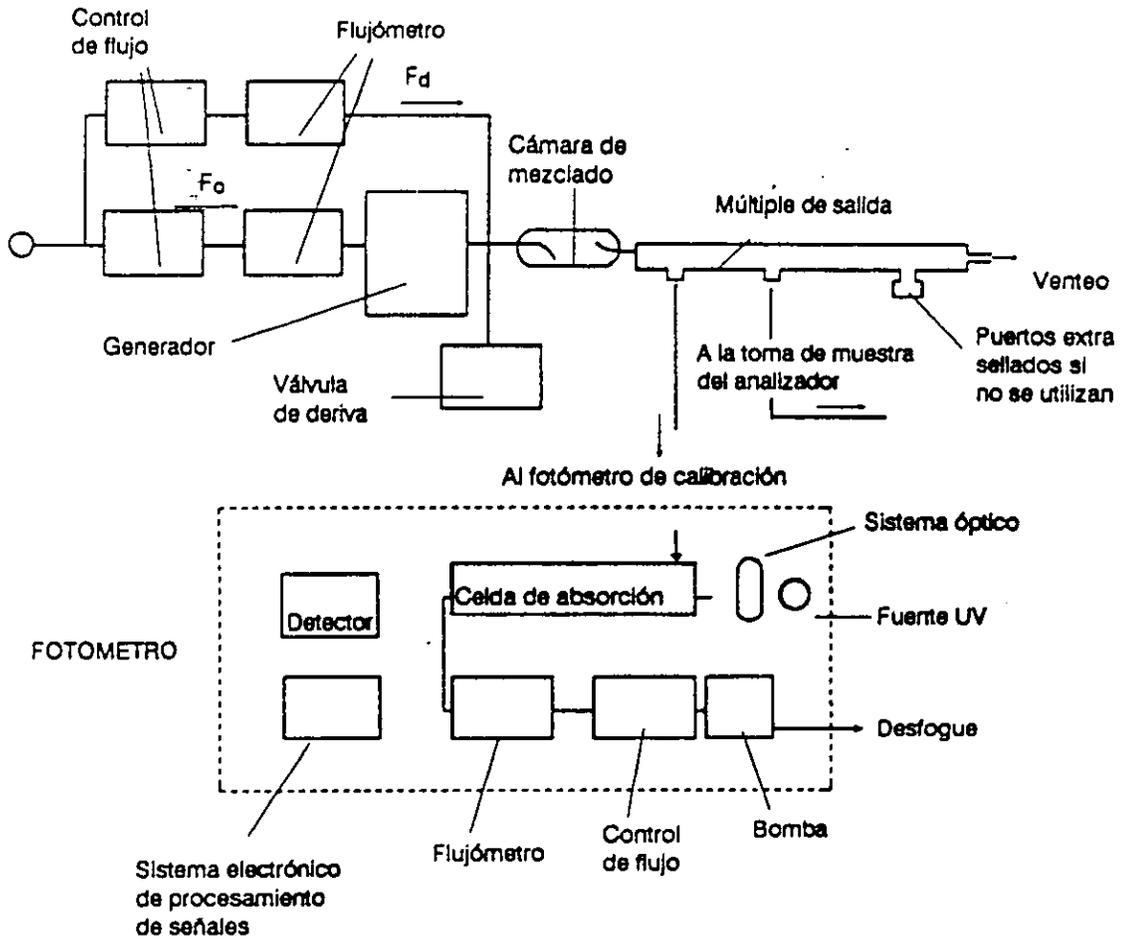
ANEXO 1

MÉTODO DE REFERENCIA  
DIAGRAMA DE UN MONITOR PARA OZONO



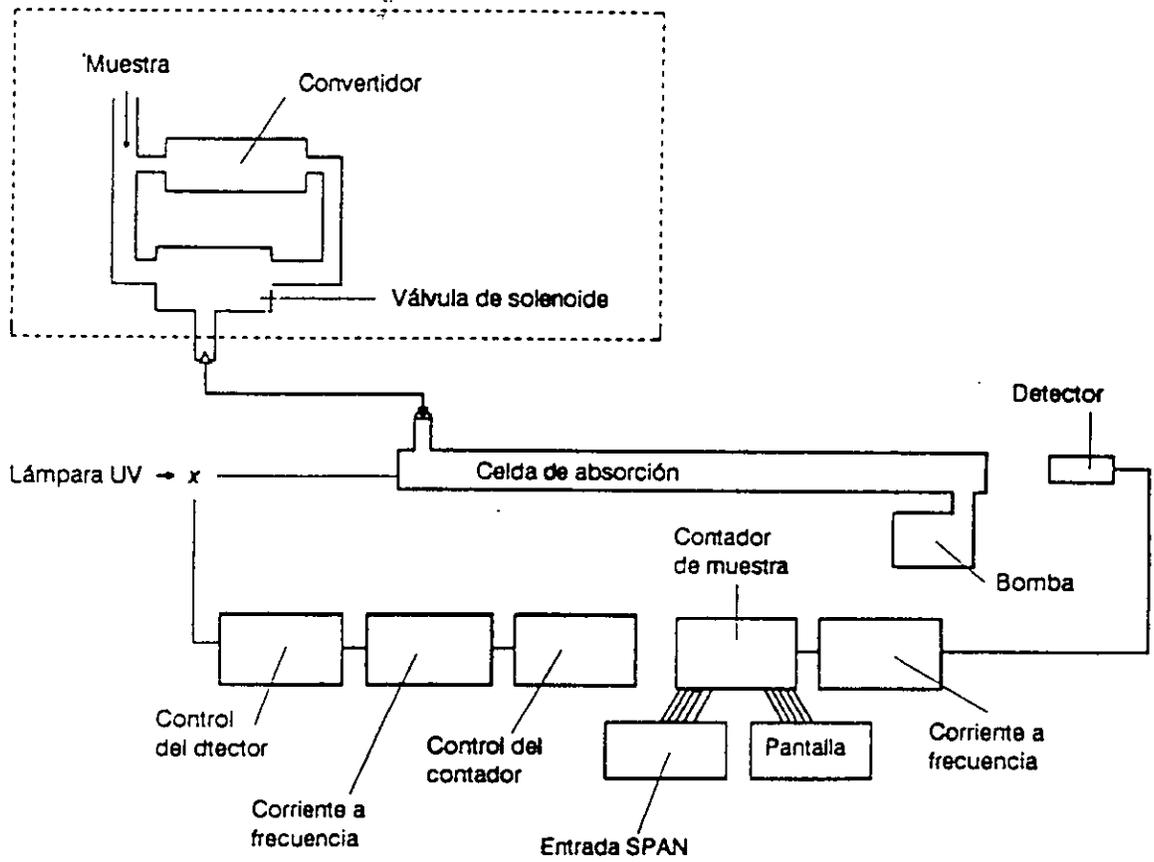
**ANEXO 2**  
**DETECTOR / FOTOMULTIPLICADOR**





# ANEXO 4

## DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE UN FOTÓMETRO ULTRA VIOLETA



**SECRETARIA DE SALUD**

**Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993, Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al ozono (O<sub>3</sub>). Valor normado para la concentración de ozono (O<sub>3</sub>) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.**

---

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice. Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de Salud.

FILIBERTO PEREZ DUARTE, Director General de Salud Ambiental, por acuerdo del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, con fundamento en los artículos 39 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 38 fracción II, 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 8o. fracción IV y 25 fracción V del Reglamento Interior de la Secretaría de Salud.

**CONSIDERANDO**

Que con fecha 11 de Noviembre de 1993, en cumplimiento de lo previsto en el artículo 46 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Dirección General de Salud Ambiental presentó al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, el anteproyecto de la presente Norma Oficial Mexicana.

Que con fecha 18 de Enero de 1994, en cumplimiento del acuerdo del Comité y de lo previsto en el artículo 47 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se publicó en el **Diario Oficial de la Federación** el proyecto de la presente Norma Oficial Mexicana a efecto que dentro de los siguientes noventa días naturales posteriores a dicha publicación, los interesados presentarán sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario.

Que en fechas previas, fueron publicados en el **Diario Oficial de la Federación** las respuestas a los comentarios recibidos por el mencionado Comité, en términos del artículo 47 fracción III de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Que en atención a las anteriores consideraciones contando con la aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, se expide la siguiente:

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-020-SSA1-1993 SALUD AMBIENTAL CRITERIO PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE, CON RESPECTO AL OZONO (O<sub>3</sub>). VALOR MORNADO PARA LA CONCENTRACIÓN DE OZONO (O<sub>3</sub>) EN EL AIRE AMBIENTE, COMO MEDIDA DE PROTECCION A LA SALUD DE LA POBLACION\*.**

**0. Introducción**

El Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994, señala que la contaminación atmosférica ha sido producto del proceso de la industrialización, así como de las grandes concentraciones urbanas, primordialmente por la emisión de humos, polvos y gases provenientes de fuentes móviles y fijas. Para prevenir, restablecer y mantener la calidad de aire, se realizarán acciones para reducir la emisión de contaminantes.

La Ley General de Salud, contempla que en materia de efectos del ambiente en la salud, las autoridades sanitarias establecerán las normas, tomarán medidas y realizarán las actividades a que se refiere esta ley tendientes a la protección de la salud humana ante los riesgos y daños dependientes de las condiciones del ambiente, así como determinar, para los contaminantes atmosféricos, los valores de concentración máxima permisible para el ser humano.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento en materia de prevención y control de la contaminación de la atmósfera, señalan que la calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y regiones del país, y que la Secretaría de Desarrollo Social, expedirá, en coordinación con la Secretaría en lo referente a la salud humana, las normas oficiales mexicanas correspondientes, especificando los niveles permisibles de emisión e inmisión por contaminante y por fuente de contaminación, de acuerdo con el reglamento respectivo.

El Programa Nacional para la Protección del Medio Ambiente 1990-1994 dicta que en materia de protección al ambiente se cuente con los conocimientos científicos y técnicos que permitan incorporar en los procesos productivos, tecnologías que reduzcan al mínimo el impacto sobre el medio ambiente, así como definir e incluir criterios ecológicos para regular y optimizar las actividades productivas.

El ozono (O<sub>3</sub>) es un gas constituido por moléculas triatómicas de oxígeno. Su presencia en el aire es la resultante de la combinación de los óxidos de nitrógeno, hidrocarburos volátiles y la radiación ultravioleta, los que consecuentemente actúan como precursores.

Hasta el momento actual se considera que su efecto sobre los tejidos vivos estriba en su extraordinaria avidez por las lipoproteínas, las que degenera dando lugar a: 1. Alteraciones en las membranas celulares y 2. Superoxidación de enzimas.

Los tejidos más sensibles a estas acciones son las mucosas, principalmente la ocular y la respiratoria. El riesgo que representa depende del nivel de concentración del contaminante en el aire ambiente y del tiempo de exposición del individuo, así como de su susceptibilidad, fundamentalmente en niños, ancianos y neumópatas crónicos.

Hasta ahora se ha demostrado que es un factor en el determinismo de inflamación de esas mucosas, de facilitación del proceso de infección, así como en el establecimiento precoz de procesos degenerativos (envejecimiento y enfisema).

Los valores criterio de calidad del aire, establecen límites sobre concentraciones de diversos contaminantes con base en la protección de la salud de la población, iniciando con la más susceptible, y son parámetros de vigilancia de la calidad del aire ambiente. Establecen la referencia para la formulación de programas de control y evaluación de los mismos.

## **1. Objetivo y campo de aplicación**

### **1.1 Objetivo**

Esta Norma Oficial Mexicana establece el valor permisible para la concentración de ozono en el aire ambiente.

### **1.2 Campo de aplicación**

Aplicable en todo el territorio mexicano.

Aplicable en las políticas de saneamiento ambiental en lo referente a la salud humana.

Aplicable en actividades o situaciones ambientales que causen o puedan causar riesgos o daños a la salud de las personas.

Aplicable para el desarrollo de investigación permanente y sistemática de los riesgos o daños que, para la salud de la población, origine la contaminación ambiental por ozono.

## 2. Referencias

Esta Norma se complementa con la Norma Oficial Mexicana: NOM-CCAM-003-ECOL/1993, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.

## 3. Definiciones

### 3.1 Aire ambiente

Atmósfera en espacio abierto

### 3.2 ppm

partes por millón

(Conversión  $1\text{ppm} = \mu\text{g}/\text{m}^3$  de ozono de aire ambiente a condición estandar de presión y temperatura ( $25^\circ\text{C}$  y  $1$  atmósfera)).

### 3.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

microgramo por metro cúbico.

## 4. Especificaciones

La concentración de ozono, como contaminante atmosférico, no debe rebasar el límite máximo normado de  $0.11\text{ppm}$  o lo que es equivalente a  $216 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en una hora, una vez al año, en un periodo de tres años para protección a la salud de la población susceptible.

## 5. Métodos de prueba

NOM-CCAM-003-ECOL/1993. Establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.

## 6. Concordancia con normas internacionales

Esta Norma no tiene concordancia con normas internacionales.

## 7. Bibliografía

Ozone and other photochemical oxidants. Air quality guidelines for Europe WHO regional publications European series: no. 23 ISBN 92-890-1114-9. 315.323. 1987.

U.S. Environmental Protection Agency (1986) Air Quality Criteria Document for Ozone and Other Photochemical Oxidants. Research Triangle Park, N.C. Office of Health and Environmental Assessment. Environmental Criteria and Assessment Office; EPA Volume I report no. EPA 600/8-84-020 aF.

U.S. Environmental Protection Agency (1986) Air Quality Criteria Document for Ozone and Other Photochemical Oxidants. Research Triangle Park, N.C. Office of Health and Environmental Assessment. Environmental Criteria and Assessment Office; EPA Volume II report no. EPA 600/8-84-020bF.

U.S. Environmental Protection Agency (1986) Air Quality Criteria Document for Ozone and Other Photochemical Oxidants. Research Triangle Park, N.C. Office of Health and Environmental Assessment. Environmental Criteria and Assessment Office: EPA Volume III report no. EPA 600/8-84-020cF

U.S. Environmental Protection Agency (1986) Air Quality Criteria Document for Ozone and Other Photochemical Oxidants Research Triangle Park, N.C. Office of Health and Environmental Assessment. Environmental Criteria and Assessment Office: EPA Volume IV report No. EPA 600/8-84-020dF

U.S. Environmental Protection Agency (1986) Air Quality Criteria Document for Ozone and Other Photochemical Oxidants Research Triangle Park, N.C. Office of Health and Environmental Assessment. Environmental Criteria and Assessment Office: EPA Volume V report no. EPA 600/8-84-020eF

Efectos del ambiente en la salud. Capítulo IV, Ley General de Salud, D.O.F. Febrero de 1984, 56-57. Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994. D.O.F. Mayo de 1989. 56-57.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera. D.O.F. Enero de 1988.

Rivero S.O. y Cols. Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria. Biblioteca de la Salud. 1993. Urban Air Pollution in Megacities of the World Blackwell. WHO/UNEP.

Rajini-P, Gelzleichter-TR; Last-JA; Withschi-H Alveolar and airway cell kinetics in the lungs of rats exposed to nitrogen dioxide, ozone, and a combination of the two gases. Toxicol-Appl-Pharmacol. 1993 Aug; 121(2): 186-92.

Rubenstein-R. Human health and environmental toxicity issues for evaluation of halon replacements Toxicol-Lett. 1993 May; 68 (1-2): 21-4.

Ostro-BD. Lipsett-MJ; Mann-JK; Krupnick-A; Harrington-W. Air pollution and respiratory morbidity among adults in southern California Am-J-Epidemiol. 1993 Apr 1; 137(7): 691-700.

Romieu L. Cortes LM; Ruiz VS; Sánchez S; Meneses F; Hernández M. Air Pollution and school Absenteeism among Children in Mexico City. Am-J-Epidemiol. 136 (12): 1524-1531. 1992.

Cody RP. Weisel CP; Birnbaum G; Liroy PJ. The effect of ozone associated with summertime photochemical smog on the frequency of asthma visits to Hospital Emergency Departments. Environ-Res. 58: 184-194. 1992

## 8. Observancia de la Norma

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia para las autoridades competentes federales y locales, que tengan a su cargo el desarrollo y la aplicación de los planes o programas de política ambiental, con fines de protección a la salud de la población.

Dentro del plazo de 180 días naturales posteriores a la publicación de esta Norma Oficial Mexicana, los gobiernos de las entidades federativas propondrán los planes para la verificación, seguimiento y control de los valores establecidos.

Las autoridades competentes, en el ámbito de sus atribuciones, vigilarán la observancia de la presente Norma Oficial Mexicana.

La revisión de la presente Norma Oficial Mexicana deberá realizarse con periodicidad trienal.

## 9. Vigencia

La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor con su carácter obligatorio, al día siguiente de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

Sufragio Efectivo No Reelección.

México, D.F. a 18 de Agosto de 1994.-El Director General de Salud Ambiental. **Filiberto Pérez Duarte**.-Rúbrica.

# Bibliografía

- Altshuller A.P., S.L. Kopezynski, D. Vilson, W. Leonneman, F.D. Sutterfield. 1970 *Photochemical reactivities of aromatic hydrocarbon-nitrogen dioxide and related Systems*. Journal of the air Pollution Control association, Vol. 4, No.1 January.
- ARCO. 1989. *ARCO Introduces New Low Emission Gasoline in Southern California*, *New Focus*, J. Air Poll. Contr. Assoc. 39(10), 1357-1359.
- Avol EL, Linn WS, Venet TG, Sammoo DA and Hackney JD. 1989. *Comparative respiratory effects of ozone and ambient oxidant pollution exposure during heavy exercise*. Jour air Pollut Control Assoc; 34:804-809.
- Banerjee, A., Dolado, J., Galbraith, J. y Hendry, D.F. 1993. *Cointegration, Error-Correction and the Econometric Analysis of Non-Stationary Data*. New York. Oxford University Press.
- Banerjee A. Y Hendry, D.F. 1992. *Testing Integration and Cointegration: An Overview*. Oxford Bulletin of Economics and Statistics, Vol.54 pp.225-256.
- Bauer De M.L., T.H. Tejeda, W.J. Manning. 1985. *Ozone Causes Needle Injury and Tree Decline in Pinus hartwegii at high altitudes in the Mountains Around México City*, Journal of the Air Pollution Control Association, Vol.35, No. 8, August.
- Bravo, A. H., Viniegra G. 1958. *Informe preliminar de la polución atmosférica en la Ciudad de México*. Dirección de Higiene Industrial, S.S.A. XII Reunión Anual de la Sociedad Mexicana de Higiene, Puebla, México.
- Bravo, H.A.; Pérez, M. y Silceo, M.L. 1958. *Muestreo y análisis de gases en la Atmósfera*. Reporte Técnico. Dirección de Higiene Industrial, S.S.A., México, D.F.
- Bravo A. H., Magaña R and A. Lowe. 1978. *Preliminary Study of the Photochemical Process in the air Pollution of Mexico City*. International clean air conference the clean Air Society of Australia and New Zealand, Brisbane Australia. May.
- Bravo A. H., Magaña R. 1979. *The actual air pollution in México City*. Staub-Reinhalt. Luft: No. 11.
- Bravo H., Salazar S., García D., 1979. *Air Pollution Monitoring Station Operating at Ciudad Universitaria*, presented at 69th Annual Meeting of Air Pollution Control Assoc. Meeting, Portland Oregon.
- Bravo A. H. 1980. *Contaminación Atmosférica y meteorología*. Seminario Regional de Formación Profesional para Instructores Meteorológicos Nacionales. WMO-Servicio Meteorológico Nacional. SARH. Noviembre.
- Bravo A. H. 1981. *Contaminación Atmosférica*. Reporte Técnico. Sección de Contaminación Ambiental, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. México.
- Bravo A.H. 1982. *Contaminación: Áreas prioritarias. Reporte Técnico*. Departamento de Contaminación Ambiental. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. México.

Bravo, H. A. y Torres J. R. 1984. *Problemas ambientales originados por el uso de los derivados del petróleo y gas natural*. Memorias del Simposio: Energía y medio ambiente, Fac. de Ingeniería, UNAM. Diciembre.

Bravo, H. A. y Torres J. R. 1985. *Ozone monitoring and night concentration events at the campus of the University of Mexico*. Paper 85-59B.4. 78th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association.

Bravo, H.A. y Torres J.R. 1986. *Relationship of nitrogen oxides to oxidants in Mexico City atmosphere during 1985*. technical report. Proyecto CONACyT-UNAM: PCECBNA-001067. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM. México, D.F..

Bravo, H.A.; Perrin, F.G.; Aguilar., Torres J. R. 1986. *Estudio del monitoreo de ozono y SO<sub>2</sub> y su posible efecto en pinos del bosque del Pedregal, D.F.* Reporte Interno. CCA-UNAM. México.

Bravo, H.A.; Perrin, F.G.; Sosa, R. E. y Torres J. R., 1987. *Contaminación atmosférica fotoquímica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. Metropolis 87, International Symposium, Asociación Mundial de las Grandes Metropolis, México, D.F. Enero.

Bravo, H.A.; Perrin, F.G.; Sosa, R. E. y Torres J. R. 1987. *Contaminación atmosférica en la zona Metropolitana de la Ciudad de México: ocurrencia y estrategia de control*. Boletín GEOS. 7(1), pp. 3-9.

Bravo A. H. 1987. *La Contaminación de aire en México*. Colección Medio Ambiente No.5. Fundación Universo Veintiuno, México. 296pp.

Bravo, H.A.; Perrin, F.G.; Sosa, R. E. y Torres J. R. 1988. *Incremento de la Contaminación Atmosférica en la Ciudad de México*. Ingeniería Ambiental, SMISAAC, Año1 No.1. Enero-Febrero. 8-15pp.

Bravo, H. A.; Sosa, R. E. y Torres, J. R. 1988. *Contaminación atmosférica por ozono: Propuesta de estrategias de control para el invierno 1987-1988 en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. Reporte Técnico elaborado para la Comisión Nacional de Ecología. SEDUE. México, D.F.

Bravo A. H., F. Perrin, R. Sosa E., R. Torres J. 1988. *Importancia de la contaminación atmosférica por ozono en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. Ciencias No.12. 36-39.

Bravo A. H., F. Perrin, R. Sosa E., R. Torres J. 1988. *Incremento de la contaminación atmosférica por ozono en la zona metropolitana de la Ciudad de México*. Ingeniería Ambiental SMISAAC. Año 1 No.1 Enero-Febrero, 8-15.

Bravo A. H., F. Perrin, R. Sosa E., R. Torres J. 1989. *Results of an air pollution strategy (lead reduction in gasoline) on the air quality of Mexico City*. 8th World Clean Air Congress, The Hague, Holanda, 11-15 September.

Bravo, H.A.; Sosa, E. R.; Torres, J. 1989. *El problema fotoquímico y la lluvia ácida en la Ciudad de México*. Reunión sobre salud y ambiente en la ciudad de México 61-69, Secretaría de la Defensa Nacional, D.D.F., México, D.F., abril 17-21.

Bravo A. H., Roy-Ocotla R., G., R. Sosa., R. Torres J. 1990. *Weekdays and weekend days variation in ozone and nitrogen oxides concentrations in the atmosphere of the Mexico City*. Paper: No.90-95.6. Air & Waste Management Association. 83rd Annual Meeting & Exhibition, Pittsburg, Pennsylvania. June 24-29.

Bravo, H.A.; Camacho C.R.; Sosa, E. R.; Torres, J. R. 1990. *Efectos en la calidad del aire en C.U. por el uso del aditivo MTBE en las gasolinas del Valle de México*. En: Memorias. VII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental A.C. D. 8-D. 13. Oaxaca, Oax. Sept. 19-21.

Bravo A. H., R. Sosa E., R. Torres J. 1991. *Ozono y lluvia ácida en la Ciudad de México*. Ciencias. No.22, Abril, 33-40.

Bravo A. H., Roy-Ocotla R., G., Sánchez A. P., R. Torres J. 1991. *La Contaminación Atmosférica por Ozono en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México: Evolución Histórica y perspectivas*. Omnia Año7 Num.23. Junio 1991 39-48.

Bravo, H.A., R. Torres J.; R. Sosa E. 1992. *Reactive VOC Inventory for Mexico City. A Needed Tool to Design Ozone Control Strategies*. Paper 92-165.03. 85th Annual Meeting of The Air & Waste Management Association. Kansas City. June.

Bravo A. H., R. Sosa E., R. Torres J. 1992. *Criterios y metodologías para medir la calidad del aire*. La Contaminación Atmosférica en México.. Comisión Nacional de Derechos Humanos. México. 15-42.

Bravo A. H., Torres J.R., Roy-Ocotla R., G., R. Camacho C.R., Sosa E.R. *Analysis of the change in atmospheric urban formaldehyde and photochemistry activity as a result of using methyl-*t*-butyl-ether (MTBE) as an additive in gasolines as the metropolitan area of México city*. Atmospheric Environment Vol.25B, No.2, pp.285-288, 1991.

Bravo A. H., Roy-Ocotla R., G., Sánchez A. P., R. Torres J. 1992 *La Contaminación Atmosférica por Ozono en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. La Contaminación Atmosférica en México, sus causas y efectos en la salud. Comisión Nacional de Derechos Humanos. México. 173-184.

Bravo A. H., Torres J.R., Roy-Ocotla R., G., Sánchez A. P., R. Camacho C.R., Sosa E.R. 1992. *Photochemical air pollution situation in Mexico City Metropolitan Area*. Supercities International Conference on the Environment. San Francisco State University, California. 26-29 October.

Bravo A. H., R. Sosa E., Roy-Ocotla R., G., Sánchez A. P. 1993. *Control strategies vs. meteorology case. Mexico City*. Paper: A252. 86th Annual Meeting. of the Air & Waste Management Association. Cincinnati, Ohio. June.

Bravo, H.A., Reyes G.M., Torres J. R., Torres M.L., and Bonfil C.R. 1994. *Soiling on Mexican Monuments, The experience of the cleaning and its costs*. Paper: 94.MPI.03. 7th Annual Meeting & Exhibition, AW&MA, Cincinnati, Ohio, June 19-24.

Bravo, H.A., R. Torres J. R. 1995. *Mexico City air pollution*. Joint Spring Meeting. Central States/Western States/Mexican National Sections. The Combustion Institute and the American Flame Research Committee. San Antonio, Texas. April 23-26.

Bravo, H.A., R. Torres J. R. 1995. *Prioridades en Contaminación Atmosférica en la Ciudad de México: Ozono y Partículas Respirables*. Foro de Consulta Popular Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable en el Valle de México. México, D. F. Abril.

Calderon G.L., Roy-Ocotla G. 1993. *Nasal Cytology in Southwest Metropolitan Mexico City Inhabitants: A Pilot Intervention Study*. Environmental Health Perspectives. Vol. 101, No.2, June. Pag. 138-144.

Carey P.M. 1987 *Air Toxics Emissions from Motor Vehicles*. EPA/AA-TSS-PA-86-5. Office of Mobile Sources. U.S. Environmental Protection Agency. North Carolina, September.

Castillejos M, Gold Dr, Dockery, et al, 1992. *Effects of ambient ozone on respiratory function and symptoms in Mexico City schoolchildren*. Am Resp Dis;145:276-282.

Chock, D.P. and J.M. Heuss. 1987. *Urban ozone and its precursors*. Environment. Sci. Technol. 21:1146-1152.

Cleveland W.S., Graedel B. Kleiner. 1977. *Urban formaldehyde: Observed correlation with source emissions and photochemistry*. Atmospheric Environment. Vol.11, pp.357-360.

Cicero Fernández Pablo. 1995 *Análisis exploratorio de la influencia meteorológica en las tendencias del ozono en la Zona Metropolitana del Valle de México*. Diciembre.

Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación del Valle de México. 1992. *Red Automática de Monitoreo Atmosférico*. Dirección General de Ecología, D.D.F.

Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México. 1994. *Avances a Junio 1994. Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica en la Ciudad de México*. Dirección General de Ecología, D. D. F.

Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México. 1994. *La contaminación atmosférica en el valle de México. Acciones para su control*. 1988-1994.

Cuthbertson, K., S.G. Hall y M.P. Taylor. 1992. *Applied econometric Techniques*. London. Harvester Wheatsheaf.

D.D.F. 1990 *Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. Octubre.

D.D.F. 1991. *Reporte anual sobre la calidad del aire en la Ciudad de México*, Coordinación General de Reordenación Urbana y Protección Ecológica, Dirección de Planeación Ecológica, D.D.F., México, D.F., Marzo.

D.D.F. 1991. *Comprehensive Pollution Program for the Mexico City Metropolitan Zone*, April,

D.D.F. 1993. *Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Programa de emergencia y proyectos*.

DDF, SEMARNAP, Secretaria de Salud y Gobierno del Estado de México. 1996. *Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México, 1995-2000*. Marzo. 265pp. México.

Dikey, D.A. y W.A. Fuller 1981. *Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root*: Econometrica, vol.49, pp. 1057-1072.

Ezcurra E. 1991. ¿Qué mide el IMECA? Ciencias. No.22, Abril. 41-43.

Federal Register.

Vol.45 Pág 2700-1/14/80 yPág. 57168-8/27

Vol 46 Pág 47002-9/23/81

Vol.44 Pág.54545-9/20/79

Fortoul TI, Lambert W., Bliss M. Bravo H, Sánchez P., López Y, Sánchez Y, Villadelmar L, Rivero O and Samet J. 1995. *Acute changes in lung function associated with daily ozone exposures of children attending a day camp in Mexico City*. Am J of Resp and Critical Care Med ;151:A496.

Fortoul T.I., Lambert E.W., Bravo A.H., Olaiz G, Rojas R., Sánchez I., López I., Villadelmar R.L., Sánchez P., Navarro V.D., Bliss M. y Samet M.J. 1995. *Ozono y Sistema Respiratorio, algunos de sus efectos*. Ciencia y Desarrollo. Vol.XXI, No.125. Nov.-Dic. 44-47.

Glasson W.A 1981. *Effect of hydrocarbon and NOx on photochemical smog formation under simulated transport conditions*. Journal of the Air Pollution Control Association, Vol. 31, No.11, November.

Gonzalez G.R., Páramo F. V.H., Dominguez T. R., G. Pérez Z. 1991. *Comportamiento Histórico de la Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México en el Período 1986-1991*. Ingeniería Ambiental, SMISAAC. No.13, 6-16. México.

Greenpeace, 1993. *La Contaminación Atmosférica en la Ciudad de México*. Coordinador Campaña Atmósfera y Energía: Alejandro Calvillo Unna, Greenpeace-México, Mayo, 8pp. .

Greenpeace, 1995. *Informe: La contaminación al nivel que la respiramos*. Cordinador Campaña Atmósfera y Energía: Alejandro Calvillo Unna, Greenpeace-México, Nov.35pp.

Grosjean D., A.H. Miguel, T. Tavares. 1990. *Urban air pollution in Brazil: Acetaldehyde and other carbonyls*. Atmospheric Environment. Vol.246, pp.101-106.

Gross K B, White HJ. 1987. *Funtional and pathological consequences of a 52 week exposure to 0.5 ppm ozone followed bye clean air recovery period*. Lung; 165: 283-295.

Harvey, Andrew, C. 1993. *Time Series Models*. London. Harvester Wheatsheaf

Herrera H. M., A García G., H. Bravo A. 1991. *Concentración de ozono en Ciudad Universitaria relacionadas con cambios en la gasolina vendida en la Ciudad de México. un análisis estadístico*. Omnia. No. 23 Junio, 49-58.

Hoffman H. 1987. *Les gasoline emissions*. Ed. Hydrocarbon Processing.May .

IMP 1987. *Comportamiento de las nuevas gasolinas Plus de Petróleos Mexicanos*, Instituto Mexicano del Petróleo, México, Enero.

IMP. 1994. *Mexico City Air Quality Research Initiative. Vol IV: Characterization and measurement*. Estudio Global de la Calidad del Aire. Instituto Mexicano del Petróleo. México.

INE.1995. *Informe sobre el estado del medio ambiente*. México.

JICA, DGRUPE-DDF. 1987. *Estudio de Medidas Contra La Contaminación Atmosférica de la Ciudad de México*.

- Kalabocas P., P. Carlier, P., Fresnet, G. Mowier, G. Tonapance 1988. *Fields studies of aldehyde chemistry in the Paris Area*. Atmospheric Environment. VOL.22 No.1, pp.147-155.
- Koenig JQ, Covert DS, Marshall SG et al. 1987. *The effects of ozone and nitrogen dioxide on pulmonary function in asthmatic adolescent*. Am Rev Respir Dis;136:1 152-157.
- Leach P.W., L.J Leng, T.A. Bellar, J.E. Sigsby Jr. A.P. Altshuller. 1964. *Effects of HC/NOx Ratios on Irradiated Auto Exhaust*, Part. II. Journal of the Air Pollution Control Association, Vol. 14, No. 5 May.2
- Lippmann M. Ozone. In (Lippman m. ed.). 1992. *Environmental Toxicants. Human exposures and their health effects*. New York: Van Nostrand Reinhold, pp465-519.
- Margulis S. 1992. *Back-of-the-Envelope Estimates of Environmental Damage Cost in Mexico*. WPS824, World Bank.
- McDonnell WF, Chapman RS, Leogh MW, et al. 1985. *Respiratory responses of vigorous exercising children to 0.12ppm ozone exposure*. Am Rev Respir Dis 1985;132:875-879.
- Milford, J.B., A.G. Russell, and G. J. McRae. 1989. *A new approach to photochemical pollution control. Implications of spatial patterns in pollutant responses to reductions in nitrogen oxides and reactive organic gas emissions*. Environ. Sci. Technol. 23(10): 1290-1310.
- Morrison R.T., Boyd R.N., 1976. *Química Orgánica*. Ed. Fondo Educativo Interamericano, S.A., México
- Norma Oficial Mexicana *Especificaciones de la gasolina mexicana con plomo*. D.O.F. 2 de diciembre de 1994.
- NOM-034-ECOL-1993. *Norma Oficial Mexicana, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición*. Diario Oficial de la Federación 29 de Nov. 1994.
- Pasquill F. 1962. *Atmospheric Diffusion*, D. Van Nostrand Co. Ltd. London.
- OCDE. 1994. *Urban Travel Report*. Ginebra.
- PEMEX. 1986. *Aspectos generales del plomo y su comportamiento en el medio ambiente*. GPTA-E-003. Diciembre, México.
- PEMEX Refinación 1996, *Calidad típica de gasolinas en la Zona Metropolitana*.
- Quadri G, y L. Sánchez Cataño. 1992. *La zona metropolitana y la contaminación atmosférica*. Limusa Noriega Editores, México, D.F.
- Raizene ME, Burnett RT, Stern B et al 1989. *Acute lung function responses to ambient aerosol exposures in children*. Environ Health Perspect;79:179-185.
- Rao, S.T, I.G. Zurbenko, P.S. Porter, J.Y. Ku, y R.F. Hendry. 1996. *Dealing with the Ozone Non-Attainment Problem in the Eastern United States*. pp. 17-31.

- Richardson D. 1982 *Exhaust emissions and fuel economy from automobiles using alcohol/gasoline blends under high altitude condition*. EPA, Office of Mobile Source Air Pollution Control, Office of Air Noise and Radiation. ANN Arbor, WI.
- Rivero O, Ponciano G, Fourtoul T. 1993. *Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria*. México: Biblioteca de la Salud.
- Santos Burgoa C. y L. Rojas Bracho. 1992. *Los efectos de la contaminación atmosférica en la salud*. La Contaminación Atmosférica en México, sus causas y efectos en la salud. Comisión Nacional de Derechos Humanos. México. 205-250.
- SEDESOL-INE. 1994. *Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente*.
- SEDUE. 1986. *Informe de labores: 1985-1986*. México.
- SEDUE. 1986. *Informe sobre el medio ambiente en México*, Subsecretaría de Ecología, Mexico.
- SEDUE. 1987. *Calidad del aire para ozono para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. Dirección General de Prevención y Control de la Subsecretaría de Ecología, México, D.F. (1986-1987)
- Sigsby J.E., S. Tejada, W. Ray. 1987. *Volatile organic compound emissions from 46 in-use passenger cars*. Environ. Sci. Technology. Vol. 21. pp. 1500-1520.
- Schmidt, P. Y P.C.B. Phillips. 1992. *LM Test for a Unit Root in the Presence of Deterministic Tendencia*. Oxford Bulletin of Economics and Statistics. Vol: 54 pp. 257-288.
- Spanos, A. 1986. *Statistical Foundations of Econometric Modelling*. Cambridge. Cambridge University Press
- Swartz J, Zeger S. 1990. *Passive smoking, air pollution, and acute respiratory symptoms in a dairy study of student nurses*. Am Rev Resp Dis; 141:62-67.
- Tyler WS, Tyler NK, Last JA et al. 1988. *Comparison of daily and seasonal exposures of young monkeys to ozone*. Toxicology; 50:131-134.
- Torres, J.R. 1991, *Construcción y aplicación de trayectorias de retroceso de parcelas de aire al estudio de la contaminación atmosférica por ozono en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. Tesis de Maestría, División de Estudios de posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, D.F.
- Seinfeld, J.H. 1989. *Urban air pollution: state of the science*. Science, 243: 745-752.
- US Department of Health, Education and Welfare (1970)-. Air quality criteria for photochemical oxidants. National Air Pollution Control Administration publication No. AP-63, Washington, D.C.
- US-EPA. 1984. *Air Quality Criteria for Ozone and Other Photochemical Oxidants*. Vol. IV, Environmental Criteria and Assessment Office. Office of Health and Environmental Assessment. Office of Research and Development.
- US-EPA. 1989. *Review of the National Ambient Air Quality Standards for Ozone: Assessment of Scientific and Technical Information*. OAQPS Staff Paper. Strategies and Air Standard Divisions. Office of Air Quality Planning Standards.

US-EPA. 1978. *Site selection for monitoring of photochemical air pollutant*. EPA-450/3-78, Reserach Triangle Park, North Carolina.

WHO. 1987. *Air quality guidelines for Europe, World Health Organization*. Regional Office for Europe, Copenhagen, WHP Regional Publications, European Series, No. 23.