

26  
24

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

FORMACION DE OZONO  
EN LA CIUDAD DE MEXICO

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
Q U I M I C O  
P R E S E N T A  
HEIDY HOCHSTEIN GLAZMAN

1991

FALLA DE ORIGEN



## **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 está 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.

## INDICE

Cap.	.....	Pag.
I	Introducción .....	1
II	Contaminación Atmosférica .....	11
III	Fotoquímica .....	20
IV	La Meteorología en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México .....	29
V	IMECA- Indice Metropolitano de calidad del aire .....	38
VI	Estudio de las correlaciones entre el ozono y sus precursores atmosféricos .....	46
VII	Resultados .....	49
VIII	Conclusiones .....	57
	Apéndice A .....	61
	Apéndice B .....	64
	Apéndice C .....	80
	Bibliografía .....	114

# CAPITULO I

## INTRODUCCION

Los problemas asociados a la contaminación ambiental se agudizan a partir de la época de la revolución industrial, que se caracteriza por un aumento explosivo tanto de la actividad industrial como de la población. Sin embargo, la necesidad de estudiar el impacto ambiental de la contaminación permaneció ignorada por muchos años al existir la creencia general de que los recursos naturales eran inagotables y que las aguas, suelos y aire podrían absorber sin consecuencia alguna los productos de la actividad humana.

Las sociedades civiles y gobiernos empiezan a adquirir, poco a poco, lo que se podría denominar una conciencia ecológica, en el momento en que se empiezan a presentar daños irreversibles y generalizados en la población y en el medio ambiente, es decir, cuando el costo social y económico de la contaminación se vuelve comparable a otros factores del desarrollo.

La contaminación, en los términos más generales, se puede definir como la presencia de un agente externo en un sistema puro. En el caso de la contaminación ambiental, el sistema al que nos referiremos está formado por la tierra y la atmósfera que la rodea y agentes externos son aquellas sustancias cuya existencia en una concentración determinada causan efectos no deseados sobre el medio ambiente.

El estudio de la contaminación se puede atacar desde dos puntos de vista, uno es el de la protección ambiental, que es preventivo y consta de la elaboración de estudios para evitar episodios de contaminación; el otro es el de la química ambiental y que consiste en la elaboración de estudios para buscar soluciones cuando se presenta un episodio.

Para el estudio de los problemas de contaminación ambiental los sistemas se pueden dividir de acuerdo al medio que afectan más directamente. De esta manera hablamos de contaminación del agua, del suelo y del aire; a continuación describiremos brevemente sus aspectos generales:

#### **I. Contaminación del agua.**

Los problemas de la contaminación del agua, se originan a partir de cualquier cambio en su composición que pueda afectar el uso futuro al que está destinada. Estos usos son primordialmente: consumo humano, usos industriales y usos agrícolas. Los cambios se ocasionan por una variación artificial de su temperatura o por la presencia o adición de sustancias extrañas a su composición original, sustancias que pueden ser tanto de origen orgánico como inorgánico.

Antiguamente, luego de ser utilizadas, las aguas residuales eran vertidas a los cursos fluviales o en los campos de cultivo donde sufrían una autodepuración natural debida a la presencia de microorganismos; éste mecanismo permitía volver a hacer uso de los caudales en un tiempo relativamente corto o en

lugares cercanos a los vertederos. Sin embargo, el crecimiento de la población y la subsecuente expansión de las actividades industriales y del agro han provocado un desequilibrio en este mecanismo de depuración natural haciéndolo insuficiente para los ciclos requeridos de reuso del agua.

Un primer paso encaminado a resolver dichos problemas se da al implantar programas de control de la calidad de las aguas residuales. De hecho se han establecido, ya sea por los gobiernos de los países o por organizaciones internacionales, normas mínimas de calidad del agua que se refieren tanto al uso al que está destinada como a los residuos que son vertidos al ambiente.

Las aguas potencialmente contaminantes provienen en su mayoría de las siguientes fuentes: municipal o estatal, industrial, de actividades de dragado o relleno de fuentes naturales y de fuentes no puntuales. Estas fuentes pueden estar afectando al sistema por sí mismas o de una manera combinada.

**a) Fuentes Municipales.-** En la mayoría de los casos la responsabilidad del manejo de las redes del drenaje recae en el gobierno de las ciudades. En las redes circulan, principalmente, las llamadas aguas negras, es decir, los desechos domésticos de los baños y cocinas; el agua viene acompañada de materia orgánica, nutrientes, sedimentos, bacterias y virus, además de otras sustancias tóxicas como pinturas, detergentes y pesticidas.

Muchas veces al drenaje municipal se vierten también las aguas residuales de algunas industrias que contienen metales y sustancias orgánicas tóxicas. La contaminación debida a fuentes municipales se puede controlar con la instalación de plantas de tratamiento de aguas.

**b) Fuentes Industriales.-** En los procesos industriales se producen diariamente billones de litros de aguas de desechos que en su mayoría contienen residuos tóxicos que afectan tanto a la salud humana como a los organismos acuáticos. El control de los desechos tóxicos se lleva a cabo a través de un pretratamiento de las aguas residuales dentro de las mismas plantas antes de ser vertidos al drenaje. Si bien éstos tratamientos representan gastos de instalación adicionales, se logra un cierto retorno de la inversión debido a la recuperación de solventes y otros materiales.

**c) Fuentes No Puntuales.-** Son aquellas fuentes de contaminación difusas, es decir, de las que no es posible determinar el origen y periodicidad de la contaminación, por ejemplo, la que se produce por el arrastre que hace el agua de lluvia de sustancias en el suelo como aceites, residuos químicos, virus y bacterias. Los contaminantes arrastrados se sedimentan en ríos, lagos y estuarios.

**d) Actividades de dragado y relleno de fuentes naturales.-** Muchos contaminantes tóxicos, ya sedimentados e incorporados al suelo de lagos y

estuarios son resuspendidos en el agua debido a las actividades de dragado y relleno de fuentes naturales.

**e) Contaminación Térmica del Agua.-** Un aumento en la temperatura del agua debido, en general, a la incorporación de las corrientes provenientes de los sistemas de enfriamiento de instalaciones industriales causa un desbalance en el equilibrio ecológico de las corrientes acuíferas. Este fenómeno se observa sobre todo en las vecindades de las plantas nucleares, donde en algunos casos, inclusive, se hace uso directo de la corriente del río con el fin de enfriar la planta.

## **II.- Contaminación del Suelo.**

Históricamente los desechos sólidos, la llamada basura, fue de origen doméstico y el tratamiento original consistía en abandonarla en lugares cercanos; cuando el volumen de ésta se volvió considerable se decidió, "por accidente", quemarla. Seguramente la idea original de quemar los desechos sólidos se vio favorecida debido a la producción de metano en los procesos de descomposición de los desechos orgánicos. Un tercer procedimiento para eliminar la basura consiste en enterrarla.

El mal tratamiento de los desechos domésticos, su simple entierro, quema o depositación a cielo abierto, son causantes de problemas ambientales, como los humos, los malos olores, la infiltración de sustancias tóxicas a los mantos



acuíferos, que contaminan las aguas subterráneas y superficiales en la vecindad de los depósitos, la proliferación de roedores, moscas y mosquitos y en general de una disminución de la calidad del aire en los lugares vecinos.

Por su parte, los desechos industriales presentan problemas adicionales debido a que en su composición pueden incluir sustancias tóxicas. Está comprobado que algunas sustancias como las dioxinas, aun en cantidades muy pequeñas, causan serios problemas a la salud; otro tipo de desechos son peligrosos porque al combinarse entre sí forman mezclas inflamables o explosivas. Los efectos potenciales en la salud causados por los desechos industriales, haciendo a un lado aquellos provocados por el tratamiento de materiales radiactivos, van desde dolores de cabeza, náuseas, urticarias u otras reacciones alérgicas hasta disfunciones del hígado y riñones, cáncer y daños genéticos.

En la época actual han aparecido los llamados confinamientos ecológicos, cuyo uso y localización está reglamentado por los gobiernos, y que consisten en depósitos diseñados de tal manera que los desechos sólidos no interfieran con la naturaleza. Para disminuir el volumen de los desechos sólidos se sugieren procesos de selección y reciclamiento de materiales como papel, metales, vidrio, plástico y otros.

### III.- Contaminación Atmosférica.

Aunque puede decirse que la atmósfera actual está formada principalmente de oxígeno y nitrógeno, se ha determinado que contiene muchos otros gases, los que pueden encontrarse en concentraciones permanentes, o en concentraciones variables, como se muestra en las Tablas I y II, respectivamente.

Tabla I. Componentes permanentes de la atmósfera.

Constituyente	% Volumen	Conc. (ppm)
Nitrógeno	78.084	-
Oxígeno	20.948	-
Argón	0.934	-
Dióxido de Carbono	0.314	-
Neón	-	18.18
Helio	-	5.2
Kriptón	-	1.1
Xenón	-	0.09
Hidrógeno	-	0.5
Metano	-	2.0
Oxidos Nitrosos	-	0.5
Monóxido de Carbono	-	1.1

Tabla II. Componentes variables en la atmósfera.

Constituyentes	% Volumen	Conc. (ppm)
Vapor de agua	0-2	-
Ozono	-	0 - 0.07 (sup) 1 - 3.0 (20 - 30 km)
Vapor de ácido nítrico	-	$(0 - 10) \times 10^{-3}$
Acido sulfhídrico	-	$(2 - 20) \times 10^{-3}$
Dióxido de azufre	-	$(0 - 20) \times 10^{-3}$
Amoníaco	-	Trazas
Dióxido de nitrógeno	-	Trazas
Oxido nítrico	-	Trazas

Podemos hablar de contaminación atmosférica cuando se encuentran en el aire, es decir en la porción de gases más cercana a la atmósfera, componentes adicionales, que pueden ser otros gases o partículas en suspensión, o cuando las concentraciones de los componentes menores aumentan de tal forma que pueden ser peligrosas al bienestar de los humanos, animales o bienes materiales.

La atmósfera esta constituida de varias capas dependiendo de su cercanía a la Tierra; la más cercana a la superficie se llama tropósfera y se caracteriza por contener la mayor parte de la masa de aire (95%), además de presentar, en función de la altura, un gradiente negativo de temperatura; la capa más lejana a la tierra es la estratósfera, ahí la temperatura es muy baja y contiene poco aire, lo que le da características de estabilidad.

La atmósfera se limpia a si misma casi siempre ya que al disminuir la temperatura al aumentar la altura las masas de aire se enfrían paulatinamente, una vez frías, tienden a caer hacia la superficie de la tierra mientras que las masas de aire caliente suben, lo cual produce como resultado una mezcla vertical que mueve la contaminación hacia la estratósfera, en esta parte de la atmósfera los contaminantes se acumulan debido a su estabilidad.

Las diferentes sustancias que se encuentran en la atmósfera pueden estar en forma de materia particulada, líquidos, sólidos o gases en proporciones variables. Los contaminantes se pueden emitir desde diversas fuentes, así se tienen contaminantes de fuentes naturales, como son los gases y polvos provenientes de actividades volcánicas o de la erosión, de la descomposición de la materia orgánica o como productos de la fotosíntesis; y contaminantes provenientes de fuentes artificiales como los humos y gases provenientes de las actividades industriales, de transporte, generación de energía y otras actividades humanas.

En este trabajo se abordan algunos aspectos de la contaminación atmosférica haciendo énfasis en los procesos fotoquímicos que dan lugar a la formación de contaminantes secundarios como el ozono, se explica su ciclo natural y las correlaciones con sus precursores atmosféricos además de su impacto ambiental.

Se presenta así mismo un análisis de la meteorología de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México como factor importante en la formación de este tipo de contaminación y también se hace una descripción de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) de la Ciudad de México, los parámetros que mide, la ubicación de las estaciones y la frecuencia de las mediciones, para terminar con un estudio de los datos obtenidos con este sistema.

## CAPITULO II

### CONTAMINACION ATMOSFERICA

La emisión de contaminantes a la atmósfera se puede clasificar, según su origen, como proveniente de dos tipos de fuentes: naturales y antropogénicas.

**a) Fuentes Naturales.-** Este tipo de fuentes incide de una manera más importante en zonas donde la concentración urbana es escasa y su mayor impacto se refleja al analizar el transporte y formación de contaminantes a meso y gran escala.

Los principales contaminantes provenientes de fuentes naturales son:

- **Compuestos sulfurados.-** Producto de las actividades volcánicas y procesos biogénicos.
  
- **Partículas.-** De origen inorgánico son los polvos arrastrados por vientos, productos de erupciones volcánicas e incendios forestales. En general estas partículas tienen un tamaño mayor de 2  $\mu\text{m}$  de diámetro, en su mayoría contienen elementos como silicio, aluminio, fierro, sodio, potasio, calcio y manganeso. En la superficie del océano se generan partículas compuestas por los elementos presentes en el agua de mar y por materia orgánica. De origen orgánico llamamos a aquellas liberadas desde las plantas como semillas, polen, esporas, ceras y resinas, así como microbios, hongos y bacterias.

- **Compuestos químicos.-** Entre éstos están: terpenos (producto de emisiones biológicas de plantas y árboles), hidrocarburos (isopreno y  $\alpha$ -pineno), monóxido de carbono el océano),  $\text{NO}_x$  (proveniente de la oxidación del amonio y de la quema de biomasa).

**Fuentes Antropogénicas.-** Son aquellas que generan emisiones contaminantes como resultado de los asentamientos humanos y de las actividades económicas, sociales y de transporte que desempeña el hombre. Su mayor impacto incide sobre las zonas urbanas y principalmente en la formación de contaminantes fotoquímicos. Estos contaminantes pueden ser emitidos desde dos tipos de fuentes:

- **Fuentes fijas-** Son aquellas que no se desplazan como son las fábricas, calderas, refinerías, plantas de proceso, etc.; los principales contaminantes que emiten este tipo de fuentes son dióxido de azufre y partículas.
- **Fuentes móviles.-** Incluyen a los vehículos automotores como automóviles y camiones que emiten la mayor parte del monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno presentes en la atmósfera urbana.

En términos generales en la Ciudad de México, la distribución de los contaminantes según su origen se esquematiza en la Figura 1.

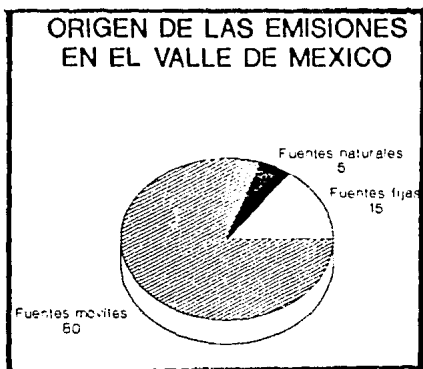


Fig 1

Aquellos contaminantes que se emiten directamente en la atmósfera desde las fuentes antropogénicas o naturales se definen como **contaminantes primarios**. Estos, una vez en la atmósfera están sujetos a transformaciones físicas y químicas provocadas por las condiciones meteorológicas; el producto de estas reacciones son los llamados **contaminantes secundarios**.

En la Tabla III se muestran los efectos que causan a la salud y al medio ambiente, los principales contaminantes presentes en la atmósfera, así como algunas de sus principales propiedades, tanto físicas como químicas.



**Tabla III.** Principales contaminantes en la atmósfera, propiedades e impacto ambiental.

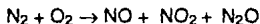
Nombre	Fórmula	Propiedades	Importancia como contaminante
Dióxido de azufre	SO <sub>2</sub>	Gas, incoloro con olor muy penetrante, muy soluble en el agua para formar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Daños a la vegetación, construcciones y salud
Oxido nítrico	NO	Gas incoloro	Se produce durante la combustión a altas temperaturas y presiones. Se oxida a NO <sub>2</sub>
Dióxido de nitrógeno	NO <sub>2</sub>	Gas café-anaranjado	Es el mayor componente en la formación del esmog fotoquímico
Monóxido de carbono	CO	Gas incoloro e inodoro	Producto de la combustión incompleta. Venenoso
Ozono	O <sub>3</sub>	Muy reactivo	Daños a la vegetación y a las construcciones. Producido durante la formación del esmog fotoquímico.
Hidrocarburos		Varios	Principalmente emitidos por los proceso de combustión

Dentro de los contaminantes primarios tenemos:

**SO<sub>2</sub>** (Dióxido de azufre).- Las emisiones principales de SO<sub>2</sub> provienen de fuentes fijas en las que se realiza la combustión de energéticos con un alto contenido de azufre. En México, las plantas termoeléctricas generadoras de electricidad son las principales consumidoras de este tipo de combustibles.

**CO** (Monóxido de carbono).- Se produce por la combustión incompleta de combustibles fósiles. Constituye el 75% del total de los contaminantes gaseosos y es emitido principalmente por el tráfico vehicular, que opera, en la Ciudad de México, a una gran altura y en condiciones inadecuadas de afinación y operación de los vehículos.

**NO<sub>x</sub>** (Óxidos de nitrógeno).- Se producen por la reacción:



debido a las altas temperaturas que se presentan en cualquier proceso de combustión. Los óxidos de nitrógeno tienen gran importancia en las reacciones fotoquímicas que ocurren en la atmósfera, por estar íntimamente relacionados con la formación del ozono. Una parte del NO<sub>2</sub> se produce a partir del NO por la oxidación de este en el aire.

**Pb (Plomo).**- La principal fuente de emisión de este contaminante proviene de la gasolina utilizada en los motores, se emite en forma de  $PbBrCl$ . El plomo se adiciona a las gasolinas en forma de tetraetilo de plomo como antidetonante.

**Partículas suspendidas.**- Las partículas y los aerosoles forman un capítulo aparte entre los contaminantes atmosféricos debido a su abundancia y a los efectos adversos que pueden provocar en la salud humana. Es muy importante conocer su distribución de tamaño ya que éste determina su grado de penetración y retención en el sistema respiratorio. Las partículas y aerosoles son además los principales causantes de la disminución de la visibilidad de la atmósfera.

Las partículas se clasifican como:

- a) **Polvo.**- Partículas sólidas que provienen directamente de material procesado como carbón, cenizas o cementos; residuos directos de un material que sufre un proceso mecánico o bien, materiales lanzados durante una operación mecánica. Su tamaño aerodinámico es de aproximadamente  $100 \mu m$ .
- b) **Vapor-humo.**- Partículas sólidas formadas por la condensación de vapores, por sublimación, destilación, calcinación o procesos químicos. Estas partículas tienen un diámetro de  $0.03$  a  $0.3 \mu m$ .

- c) **Niebla.-** Partículas líquidas formadas por condensación de un vapor y probablemente, una reacción química. Su intervalo de tamaño va de 0.5 a 3.0  $\mu\text{m}$ .
  
- d) **Humo.-** Partículas sólidas formadas como resultado de la combustión incompleta de materiales carbonáceos. Su tamaño va de 0.05 a 1.00  $\mu\text{m}$ .
  
- e) **Dispersiones.-** Partículas líquidas formadas por la atomización de un líquido.

Los contaminantes secundarios están a su vez representados por:

**O<sub>3</sub> (Ozono)-** Este gas normalmente se forma en la atmósfera mediante procesos de fotólisis y su presencia en la estratósfera evita que grandes cantidades de luz ultravioleta lleguen hasta la superficie terrestre. En la tropósfera es el contaminante más común de atmósferas urbanas

**PANs(Nitrato de peroxiacetilo)-** Es un producto secundario de la oxidación de hidrocarburos en presencia de óxidos de nitrógeno. La reacción de formación de PAN es totalmente reversible por lo que se le considera como un reservorio de óxidos de nitrógeno. Ha sido identificado como responsable de la irritación de los ojos y daños en las plantas.

**Radicales libres.**- Son los intermediarios en la formación del Smog Fotoquímico, siendo los más importantes los de tipo hidroxilo y peroxilo.

**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(Peróxido de hidrógeno).**- A través de la fotodescomposición produce dos radicales •OH

**Esmog Fotoquímico.**- La palabra esmog se acuñó de las palabras Smoke, que quiere decir humo y Fog que significa niebla. Es claro que proviene de Londres, famoso por su neblina y donde desde el siglo XIII, cuando el carbón sustituyó a la madera para el calentamiento doméstico se produjeron humos en cantidades considerables. La contaminación del aire de la atmósfera londinense es diferente a la de Los Angeles, o México. En la Tabla IV se presentan las características de estos dos tipos de contaminación:

*Tabla IV.* Comparación de las características generales de las dos principales clases de contaminación.

Características	Sulfurosa (Londres)	Fotoquímica (México)
Reconocida por primera vez	Hace siglos	Mediados de los 40s
Contaminantes primarios	SO <sub>2</sub> , hollín	Compuestos orgánicos, NO <sub>x</sub>
Contaminantes secundarios	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , aerosoles, sulfatos, etc. aldehídos, etc.	O <sub>3</sub> ,peroxiacetilnitrato (PAN),
Temperatura	Frío (=0 °C)	Calor (>20 °C)
Humedad relativa	Alta, niebla	Baja, seco
Horas pico	Temprano en la mañana	De mediodía a mediatarde

Sin duda el término esmog no debiera utilizarse para describir el segundo tipo de contaminación y sería más apropiado referirse a él como Contaminación Fotoquímica. Sin embargo, por razones históricas se acepta también llamarle Esmog Fotoquímico.

### CAPITULO III

## FOTOQUIMICA

La atmósfera urbana es un reactor químico gigantesco en el cual, debido a la acción de la luz solar, reaccionan las diversas especies presentes en la atmósfera. Las reacciones fotoquímicas que se realizan son sumamente complejas ya que involucran cientos de especies y de reacciones químicas. La formación fotoquímica de contaminantes da origen a los llamados contaminantes secundarios, entre los cuales el más significativo es el ozono y su presencia en la atmósfera depende de:

- a) La emisión, dispersión y transporte de hidrocarburos y de óxidos de nitrógeno que son los precursores del ozono.
- b) La eficiencia de las reacciones fotoquímicas que ocurren en la atmósfera.
- c) La depuración atmosférica, que reduce la concentración tanto del ozono como de sus precursores.

El ozono se forma y destruye naturalmente en la atmósfera mediante un mecanismo de interconversión entre los óxidos de nitrógeno y el oxígeno del aire, este mecanismo se conoce como ciclo del ozono o ciclo del  $\text{NO}_x$ , y que mantiene una concentración más o menos constante y baja del ozono en la tropósfera. Este ciclo se esquematiza en la figura 2.

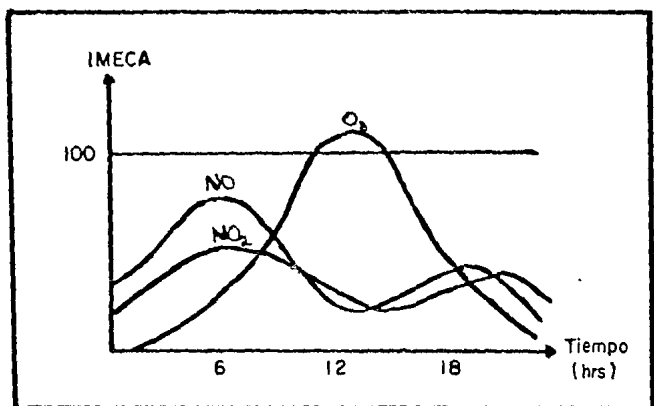


Fig 2

En las zonas urbanas está determinado por las emisiones antropogénicas, pudiendo atribuirse las siguientes etapas a cada uno de los principales compuestos que en el intervienen:

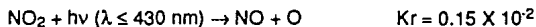
- 1.- En la madrugada, existe una concentración de NO remanente del día anterior, la cual aumenta y alcanza su máximo alrededor de las 8:00 horas, hora en la que hay la mayor emisión de NO debido a la intensidad del tráfico vehicular.
- 2.- El NO<sub>2</sub> por su parte, alcanza el máximo un poco más tarde ya que su concentración depende no sólo de las emisiones sino que también aumenta por transformación del NO, el NO<sub>2</sub> se fotoliza debido a la acción de la luz solar.



3.-Los niveles de  $O_3$ , los cuales son bajos en la madrugada, aumentan al mediodía y en la tarde al mismo tiempo que la concentración de  $NO$  presenta un valor mínimo. El ozono alcanza su máximo durante el día después de que lo hace el  $NO_2$ .

Cabe resaltar que el ozono cesa de formarse a la hora de la puesta del Sol, ya que la longitud de onda de la radiación solar en ese momento no es la adecuada para favorecer la formación de este contaminante, y como es altamente reactivo, se destruye; lo que tiene como consecuencia una disminución de su concentración en la atmósfera.

Las reacciones que representan al equilibrio que se establece espontáneamente entre el ozono y los óxidos de nitrógeno, conocido como el ciclo del ozono o del  $NO_2$  son:



Cabe resaltar que la tercera reacción es una reacción lenta comparada con las de  $NO$  y los radicales orgánicos, la velocidad de reacción es 100 veces más rápida, por lo que cualquier otro compuesto que reaccione con el  $NO$  competirá con el  $O_3$ , alterando el equilibrio y evitando la desaparición del ozono en la atmósfera, lo que implica una acumulación del mismo. Este es el caso cuando

se presenta la oxidación fotoquímica de algunos hidrocarburos que producen radicales libres del tipo peroxilo; estos radicales reaccionan con el NO para transformarlo en NO<sub>2</sub> sin destruir al ozono, y consecuentemente, provocan el almacenamiento de este último contaminante.

Las reacciones atmosféricas son tan complejas que hacen que la concentración de ozono aunque dependa no sea una función lineal de las concentraciones de los óxidos de nitrógeno ni de las de los hidrocarburos o compuestos orgánicos no metánicos (CONM). Una vía que se tiene para explicar la conversión del NO al NO<sub>2</sub> sin consumir ozono es a través de la oxidación de compuestos orgánicos en la atmósfera que producen radicales hidroperoxilo ( $\cdot\text{HO}_2$ ), que a su vez forman los radicales hidroxilo ( $\cdot\text{OH}$ ) mediante las reacciones ilustradas en el esquema de la figura 3.

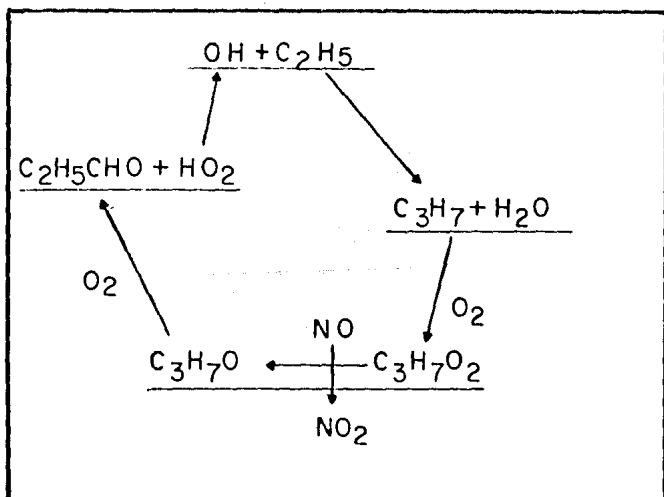
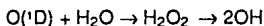
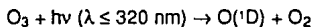
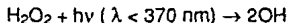
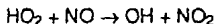
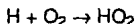
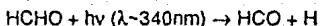


Figura 3

Una manera de evaluar el impacto fotoquímico de las sustancias es con respecto a su reactividad frente al radical  $\cdot\text{OH}$ . Debido a su gran reactividad se dice que este radical determina la química matutina de la atmósfera tanto limpia como contaminada. Sin embargo, la concentración de estos radicales aumenta después del mediodía debido a la descomposición fotolítica del ozono que produce átomos de oxígeno electrónicamente excitados, los que a su vez pueden regresar a su estado electrónico basal o reaccionar con el vapor de agua atmosférico para dar nuevos radicales  $\cdot\text{OH}$ , como se muestra en las siguientes reacciones:



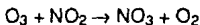
Otra fuente de radicales  $\cdot\text{OH}$  es el formaldehído ( $\text{HCHO}$ ), este compuesto se encuentra en la atmósfera como contaminante primario o secundario, y existe en concentraciones significativas tanto en las mañanas como en las tardes. La fotólisis del formaldehído genera átomos de hidrógeno y radicales formilo ( $\cdot\text{HCO}$ ). Los átomos de hidrógeno reaccionan con el oxígeno del aire para producir radicales hidroperoxilo ( $\cdot\text{HO}_2$ ), que a su vez reaccionan con el  $\text{NO}$  para dar  $\text{NO}_2$ :



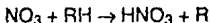
El radical formilo es también un precursor de radicales  $\cdot\text{HO}_2$ , y por lo tanto, de radicales  $\cdot\text{OH}$ . En conclusión los compuestos orgánicos participan en la fotoquímica acelerando la conversión del  $\text{NO}$  a  $\text{NO}_2$ , y por lo tanto, en la formación y acumulación de ozono.

Los compuestos orgánicos compiten entre sí por las reacciones con el  $\cdot\text{OH}$  durante el día y con el  $\cdot\text{NO}_3$  durante la noche.

El radical  $\cdot\text{NO}_3$  se forma por la acción del  $\text{O}_3$  sobre el  $\text{NO}_2$ :



El radical  $\cdot\text{NO}_3$  domina la química atmosférica nocturna y reacciona rápidamente con olefinas y acetaldehidos. Durante el día, este radical se fotoliza rápidamente, por lo que sólo existe en concentraciones medibles durante la noche:



La reacción anterior es una reacción terminal ya que al llevarse a cabo se disminuye gradualmente la concentración de los óxidos de nitrógeno.

Los compuestos orgánicos que reaccionan con los radicales hidroxilo son:

- a) **Alcanos.-** Producen un radical orgánico  $\cdot R$  y una molécula de agua. El radical  $\cdot R$  al reaccionar con una molécula de oxígeno genera radicales alquilperoxi ( $\cdot RO_2$ ) que reaccionan con los óxidos de nitrógeno para dar alcoxinitratos ( $\cdot RO_2NO_2$ ), aldehídos y cetonas.
- b) **Alquenos.-** Generan aldehídos y aumentan la conversión de NO en  $NO_2$ , y por lo tanto contribuyen a la acumulación de ozono.
- c) **Aromáticos.-** Los compuestos aromáticos provenientes de las emisiones reaccionan fácilmente en presencia de este radical, con la sustracción de un átomo de hidrógeno de los grupos alquilo sustituyentes.
- d) **Aldehídos.-** Reaccionan con el  $\cdot OH$  generando peroxiacetilnitrato (PAN).

Además, los compuestos orgánicos reaccionan con el ozono:

- a) **Alquenos.-** Estas reacciones ocurren después del mediodía. Al reaccionar se forma un "molozónido" que se descompone en un

compuesto carbonilo y en un birradical muy energético, que da  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}\cdot$  y radicales formilo que reaccionan con el oxígeno del aire para dar  $\text{HO}_2$ .

Por último se tienen las reacciones con los radicales nitrato ( $\text{NO}_3$ ):

- a) **Alcanos, alquenos, aldehídos.**- Los alcanos producen ácido nítrico y un radical. Los alquenos, radicales peroxinitratos ( $\cdot\text{RONO}_2$ ). Con diferentes hidrocarburos olefínicos y aromáticos que da origen a compuestos como aldehídos, peroxiacetilnitrato (PAN), peroxipropionilnitrato (PPN) y peroxibenxoilnitrato (PBN).
  
- b) **Aromáticos.**- Reaccionan vía sustracción de un átomo de hidrógeno de los grupos sustituyentes.

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) presenta, principalmente, una contaminación de tipo fotoquímico, siendo el ozono el contaminante más significativo. Las características que determinan este tipo de contaminación se deben a la localización geográfica de ésta zona, como son: su latitud, que implica una alta irradiación favorecedora de las reacciones fotoquímicas, su altitud de más de 2000 m que modifica los procesos de combustión y su ubicación en una cuenca que dificulta la dispersión de los contaminantes.

Las emisiones contaminantes provienen de las diferentes actividades humanas y naturales que se realizan en esta región. En la tabla V se presenta una lista

de las proporciones en las que se emiten algunos de los principales contaminantes en la Ciudad de México, según su origen.

Tabla V. Origen de los contaminantes en la ZMCM.

Fuente	CO(%)	HC(%)	NOx(%)	SO <sub>2</sub> (%)	PST (%)
Industria	1.5	30.7	37.9	97.0	30.3
Vehículos	98.5	69.3	62.1	3.0	9.8
Natural					59.9

El problema de la contaminación en la ZMCM, no es un problema fácil de resolver por los múltiples factores que en él intervienen. Por ejemplo, se puede decir que, prácticamente sólo se presentan dos estaciones climatológicas. La época de lluvias o verano y la de secas o invierno. Durante el invierno se agudiza el riesgo potencial del impacto ambiental ya que ocurren más frecuentemente las inversiones térmicas y se presentan situaciones de calma o falta de vientos. Durante el verano o época de lluvias, éstas arrastran la mayoría de las partículas, y la región recibe una mayor y más prolongada irradiación, en esta época es cuando más frecuentemente se presentan los denominados picos de ozono.

Hasta ahora hemos discutido algunos aspectos relacionados con el enfoque químico del problema de la contaminación en la ZMCM. Sin embargo, como se hizo evidente en el párrafo anterior, el problema está fuertemente determinado por los fenómenos meteorológicos, cuyas características se describen en el siguiente capítulo.

## CAPITULO IV

### LA METEOROLOGIA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México se encuentra a 2240 m de altura sobre el nivel del mar, a una latitud de 19° 26' 13" norte y longitud de 99° oeste. Esta zona, debido a su altura, a su gran concentración vehicular, a la acumulación de edificios y calles pavimentadas presenta una serie de fenómenos meteorológicos que afectan desfavorablemente la calidad del aire; las características de dichos fenómenos son descritas a continuación:

**a) ISLAS DE CALOR URBANO.-** Son zonas de irradiación nocturna de calor proveniente de calles y edificios que provocan la elevación de las masas de aire y, por lo tanto, influyen en la circulación de los vientos. Ver figura 4.

Un fenómeno análogo de estas islas de calor urbano se presenta a la orilla del mar y se conoce como circulaciones de la brisa del mar; ocurre lo mismo a la orilla del mar como en las orillas de los lagos tanto grandes como chicos. Temprano, en la mañana, antes de la salida del sol, cuando la presión atmosférica sobre el mar es la misma que sobre la tierra, los vientos están en calma. Después de que el sol empieza a calentar la tierra se forman corrientes convectivas que elevan el aire caliente sobre la tierra.

La relación hidrostática establece que un cambio en la presión con la altura es inversamente proporcional a la temperatura absoluta. Es por esto que sobre la



tierra, donde el aire se encuentra caliente, la presión a una altura  $H$  ha disminuido en una cantidad  $\Delta p$  del valor de la superficie. Pero, a la misma altura pero sobre el mar, la presión ha disminuido en una cantidad menor, que da como resultado una presión mayor sobre la tierra que sobre el mar a la misma altitud. Este gradiente horizontal de presión causa que el aire a niveles superiores fluya de la tierra al mar.

La pérdida resultante de aire sobre la tierra causa una disminución de presión en el nivel del suelo, lo que causa un flujo de aire del mar hacia la tierra, a niveles cercanos del suelo. Durante la noche, ocurre el fenómeno inverso pero con menor fuerza, lo que ocasiona un flujo de la tierra hacia el mar, a niveles cercanos al suelo. Lo mismo ocurre en los valles y taludes, en los que los vientos son causados por el enfriamiento del aire en los taludes de las montañas, cambiando la dirección del flujo de los vientos.

En las ciudades, las piedras y ladrillos absorben y retienen el calor (actuando de manera similar al mar en el sistema de brisa marina descrito anteriormente), creando islas de calor durante la noche. Este efecto causa una circulación llamada "capucha de neblina", mediante la cual los contaminantes quedan atrapados.

En la ZMCM se combinan los fenómenos de islas de calor y la circulación montaña valle, quedando los contaminantes atrapados durante la noche entre dos capas de aire frío, el del techo nocturno y el que se encuentra a la altura del suelo. Esta segunda capa de aire frío ha resbalado desde las laderas de la cadena montañosa que rodea la zona urbana.

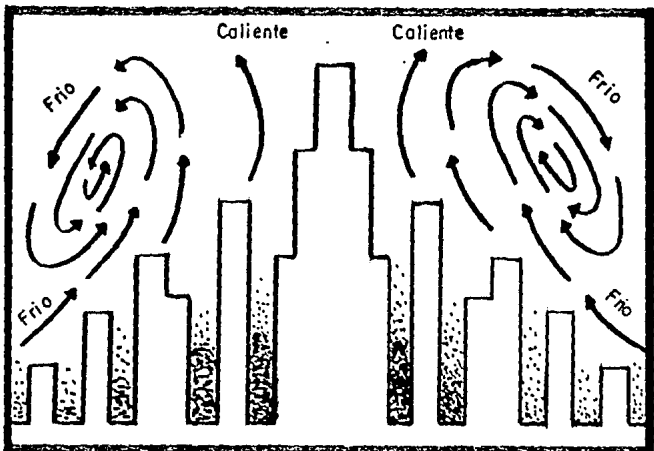


Fig 4

b) **INVERSION TERMICA.**- En condiciones normales, existe un gradiente negativo de la temperatura con la altura con respecto al suelo, es decir según aumenta la altura, la temperatura disminuye. La inversión térmica es el fenómeno en el cual se presenta una condición contraria, es decir existe un gradiente positivo de la temperatura respecto a la altura. La inversión térmica impide la dispersión vertical de los contaminantes. Conforme una masa de aire se eleva en la atmósfera terrestre, cada vez experimenta menor presión, por lo que tiende a expandirse. Al expandirse disminuye su temperatura. La velocidad a la cual esta masa de aire se enfría se le llama "velocidad adiabática seca" y es independiente de la temperatura ambiente. Se calcula a partir de la primera ley de la termodinámica:

$$(dT/dz) = -9.8 \text{ } ^\circ\text{C/Km} \approx -1 \text{ } ^\circ\text{C}/100\text{m}$$

Para evaluar las temperaturas, se utilizan las velocidades de caída dominante que se clasifican en: velocidad de caída normal, velocidad de caída subadiabática y velocidad de caída superadiabática. Estas velocidades se representan en el diagrama que se muestra en la figura 5.

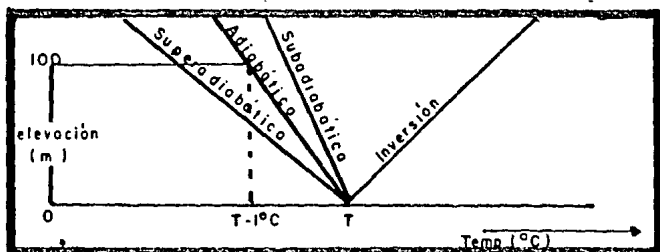


Fig 5

Una velocidad de caída superadiabática, también llamada velocidad de caída fuerte, ocurre cuando la temperatura atmosférica disminuye más  $1^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$ . Bajo condiciones superadiabáticas, las masas de aire se desplazan hacia arriba con una gran distribución de movimiento de aire vertical y turbulencia, como se muestra en la figura 6.

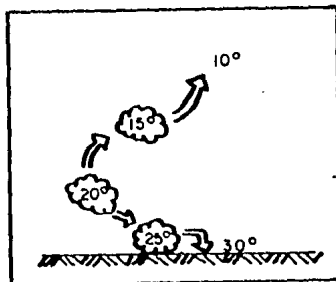
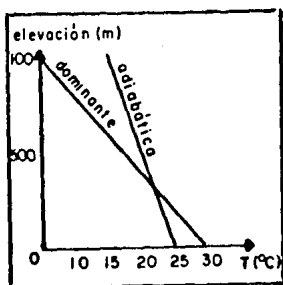


Fig 6

Cuando la velocidad de caída dominante es la misma que la velocidad de caída adiabática, se refiere como velocidad de caída neutral o estabilidad neutral.

Por su parte, en la figura 7, se ilustra la velocidad de caída subadiabática, también llamada velocidad de caída débil, que se presenta cuando la temperatura atmosférica disminuye menos de  $1^{\circ}\text{C}$  cada 100 m de altura. El caso extremo de la velocidad de caída subadiabática es conocido como inversión térmica; en la que se da lugar a la presencia de masas de aire caliente sobre aire frío. Durante la velocidad de caída subadiabática las condiciones atmosféricas son muy estables, sobre todo durante la inversión. En condiciones subadiabáticas no hay movimiento vertical.

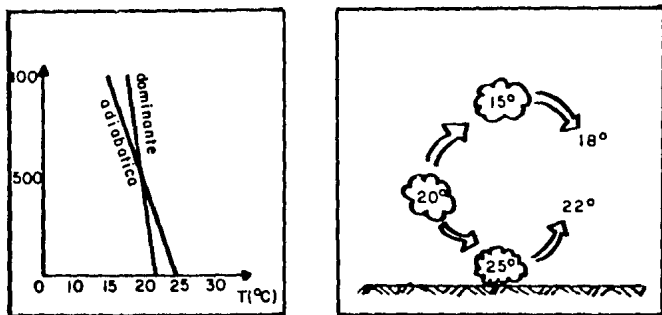


Fig.7

La inversión térmica es una condición subadiabática extrema, con un movimiento vertical del aire casi nulo. Esta inversión favorece la acumulación de contaminantes a nivel de la superficie y es grave cuando su duración se prolonga más de 24 horas, condición que se presenta con frecuencia en la época invernal en la ZMCM.

En la ZMCM la inversión térmica es del tipo de la inversión elevada, y ésta se asocia a la contaminación fotoquímica en la que el movimiento de las masas de aire conduce a la compresión y calentamiento del aire que tiene debajo, dando como consecuencia un cambio en la razón de caída, lo que forma la capa de inversión.

**c) VISIBILIDAD.-** La pérdida de la visibilidad que acompaña a los altos índices de contaminación es el aspecto más obvio de este problema para el público; se debe a la dispersión y absorción de la luz por los contaminantes, las partículas juegan un papel muy importante ya que son núcleos de dispersión y absorción de la luz. El total de extinción de la luz y la reducción de la visibilidad dependen de la longitud de onda de la luz y del ángulo de dispersión, es decir, de la posición del sol, además de la naturaleza de los contaminantes.

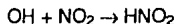
Hoy día regularmente, la visibilidad en la ZMCM es de solamente 2 Km; aunque el alcance en la visibilidad en atmósferas no contaminadas y terrenos planos puede ser hasta de 70 Km. Se dice que en los años 40's cuando aparentemente el problema de la contaminación no era tan grave, la visibilidad era de solamente 10 Km, lo cual es atribuible a las condiciones topográficas de la región.

Un fenómeno relacionado que afecta a la visibilidad en la ZMCM, pero que forma un capítulo en si mismo, es el de las tolvaneras que se presentan principalmente durante los meses de diciembre a marzo, el que será descrito más adelante.

**d) EFECTOS DEL AGUA EN LA ATMOSFERA.**- El agua al condensarse y evaporarse absorbe y emite calor. Estos efectos modifican la velocidad de caída adiabática húmeda, que va a ser menos negativa que la velocidad de caída seca. Además el agua afecta a la calidad del aire en otras formas; las neblinas se forman cuando el aire húmedo se enfría y la humedad se condensa, este fenómeno en ambientes contaminados está asociado con la formación de lluvia y niebla ácidas.

Los aerosoles, por su parte, promueven la condensación y la formación de neblinas. La niebla hace posible la conversión del  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y  $\text{HNO}_3$  además de la formación de otras especies que posteriormente se depositan en la superficie terrestre, tanto en forma seca como en forma de precipitación. Este proceso de oxidación ocurre relativamente cerca de las fuentes de emisión de los óxidos de azufre y nitrógeno aunque también puede ocurrir lejos de ellas debido al transporte a grandes distancias de los contaminantes.

La oxidación en fase gaseosa del  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_3$  se inicia por una reacción con radicales hidroxilo:



Cabe aclarar que el agua que se evapora es esencialmente neutra (con un pH de 7), pero una vez en la atmósfera, el vapor se condensa sobre las partículas sólidas y alcanza un equilibrio con los gases más abundantes en la atmósfera,

como el  $\text{CO}_2$  formando ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), lo que disminuye el pH de las gotas hasta un valor de pH de 5.6, razón por la cual el agua de lluvia siempre tiene un carácter ácido.

Se han llegado a medir lluvias con pH de 4.0 y neblinas con un pH de 1.69, lo cual es un problema grave que amenaza a los monumentos históricos, zonas boscosas y regiones agrícolas con suelos alcalideficientes. Este último no es el caso de las regiones aledañas a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, que tienen un suelo rico en sustancias alcalinas.

Hay dos procesos físicos que ocurren durante la precipitación. El primero se da dentro de las nubes y se le conoce como "rainout". En este proceso partículas muy pequeñas, de menos de una micra de diámetro, actúan como puntos de nucleación para formar las gotas de lluvia que van a crecer y en algún momento, caer como precipitación.

El segundo mecanismo es el "washout" y es un proceso bajo la nube en el que la lluvia cae sobre los contaminantes, estos son acarreados o disueltos en las gotas y de esta manera llegan a la tierra. El acarreamiento de las partículas, de todos tamaños, debido a la lluvia contribuye a la depuración de la atmósfera.

**e) TOLVANERAS.**- A partir del siglo XVII comenzó la alteración del equilibrio hidrológico del Valle de México con la consecuente desaparición de lagos y pantanos que se convirtieron en regiones muy erosionadas, secas y con poca vegetación.

En la época de secas (diciembre-abril) se presentan vientos fuertes, que asociados con las invasiones de aire polar seco de esta misma época del año barren la altiplanicie; estos vientos levantan el polvo del suelo, creándose, así, verdaderas tempestades de polvo o tolvaneras.

El viento afloja los granos de polvo, los levanta aumentando su cantidad de movimiento, las partículas levantadas al golpear de nuevo el suelo levantan a su vez más partículas aumentando la magnitud del problema y favoreciendo que estas tormentas viajen distancias considerables.

Las tolvaneras más comunes se originan en el área centro o norte del valle, que es una región semiárida con una máxima erosión del suelo, desde estos lugares se levanta una nube de polvo que recorre toda la ciudad, una vez en ésta, sin su fuente de abastecimiento, se deposita lentamente.

Un problema grave es que en algunos de los lugares de origen de estas tolvaneras existen asentamientos humanos marginales que carecen de servicios sanitarios, por lo que el polvo viene acompañado con detritos, con el riesgo consecuente para la salud.

Es importante estudiar los problemas de contaminación del aire, ya que a diferencia de la contaminación del agua y del suelo, la población expuesta a estos problemas es el 100%.



## CAPITULO V

### IMECA.- Índice Metropolitano de Calidad del Aire

Un índice de calidad del aire es una función de transformación de los datos de concentración de los contaminantes medidos a un valor simple que de manera arbitraria representa la calidad del aire en una zona y que facilita el manejo y entendimiento de los datos.

En México se utiliza el índice **IMECA** (Índice Metropolitano de Calidad del Aire) que es una modificación del Índice Urbano Estandarizado de Calidad del Aire (SUAQI) desarrollado por Att y Thom en 1972 y que fué adoptado en 1979 en EUA bajo el nombre de Índice Estandarizado de Contaminación (PSI). Un índice de calidad del aire similar a éstos se utiliza en Canadá y se le conoce con el nombre de API.

Las normas de calidad del aire establecen las concentraciones y el tiempo de exposición máximos para los contaminantes, que pueden ser regulados, tales que se puede garantizar que no afectará a la salud de la población. Estos contaminantes regulados también se conocen como **contaminantes de criterio**, pero existen otros contaminantes, denominados **contaminantes de no-criterio**, cuya presencia debe ser evitada por saber que perjudican la salud, tal es el caso de algunos metales pesados, asbestos, monómero de PVC, fluoruros, benceno y sulfuro de hidrógeno, entre otros.

La escala **IMECA** establece un valor de 100 para la norma aceptable de calidad del aire. En la Tabla VI se asocian los intervalos del **IMECA** y las repercusiones que estos tienen en la salud de la población.

Tabla VI. Índice Metropolitano de Calidad del Aire.

0-50	Situación muy favorable para la realización de todo tipo de actividades físicas.
51-100	Situación favorable para la realización de todo tipo de actividades.
101-200	Aumento de molestias menores a personas sensibles.
201-300	Aumento de molestias e intolerancia relativa al ejercicio en personas con padecimientos respiratorios y cardiovasculares.
301-500	Aparición de ligeras molestias a la población en general. Aparición de diversos síntomas e intolerancia al ejercicio físico en la población sana.

Las normas dictaminadas por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (**Sedue**) para los principales contaminantes de criterio y el tiempo máximo de exposición recomendable a esta concentración se establecen en la Tabla VII.

Para medir la calidad del aire en la ZMCM, la **Sedue** cuenta con el sistema **RAMA** (Red Automática de Monitoreo Atmosférico) que es un sistema mediante el cual se determina la presencia y la variación en las concentraciones de los principales contaminantes.

La **RAMA** cuenta con 25 estaciones automáticas distribuidas en todo el Valle de México que miden tanto concentraciones de contaminantes como ciertas condiciones meteorológicas entre las que encontramos la velocidad y dirección de los vientos, la humedad relativa y la temperatura.

Las estaciones reportan los valores de los diferentes parámetros medidos cada minuto, por vía telefónica, a un centro computacional de control. La integración

de esta información se constituye en un banco de datos de niveles horarios de concentración de los contaminantes en la atmósfera y de las condiciones meteorológicas en el momento de las mediciones.

Tabla VII. Norma Base del Índice Metropolitano de Calidad del Aire.

Contaminante	Tiempo	Concentración
Partículas suspendidas totales (pst)	24 hrs.	275 mg/m <sup>3</sup>
Bióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	24 hrs.	0.13 ppm.
Monóxido de carbono (CO)	8 hrs.	13.0 ppm
Bióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	1 hr.	0.21 ppm.
Ozono (O <sub>3</sub> )	1 hr.	0.11 ppm

Además de las 25 estaciones automáticas, existen 16 muestreadores de partículas suspendidas totales que no reportan sus mediciones diariamente ya que se requiere de la preparación y cambio de los filtros en los que se recogen las partículas; los filtros permanecen en exposición al ambiente por 24 horas y posteriormente se llevan a un laboratorio para su análisis. Estas 16 estaciones no determinan ningún parámetro meteorológico.

No todas las estaciones miden todos los contaminantes ni todos los parámetros meteorológicos, sino que cada estación mide los contaminantes que, por las actividades que se desarrollan en la zona en la que se encuentran, se espera que sean los más significativos. En la Tabla VIII se enlista la relación de los datos adquiridos para cada estación así como su identificación y ubicación.

Tabla VIII a. Localización de las estaciones de la Red Manual de Monitoreo Ambiental

Clave	Estación
Mu	Museo
Xa	Xalostoc
Vi	Villa
Lp	La Presa
Cu	Cuchilla del Tesoro
Me	Mariano Escobedo
Sh	Secretaría de Hacienda
Zc	Zacatenco
Tx	Taxqueña
Vc	Vicentina
Nt	Netzahualcóyotl
Ap	Aeropuerto
Fa	Felipe Angeles
Po	Portales
Lo	Lomas
Cfe	Museo Tecnológico de CFE

Tabla VIII b. Localización de las estaciones de la RAMA.

Estación	Caseta	Ubicación	Parámetros
1	Z	Lagunilla	CO
2	E	Vallejo	SO <sub>2</sub>
3	S	Sta. Ursula	SO <sub>2</sub>
4	B	Tacuba	SO <sub>2</sub> , HNM, H <sub>2</sub> S, Met
5	G	ENEP Acallán	SO <sub>2</sub> , PST, Met
6	M	Los Laureles	SO <sub>2</sub> , PST
7	H	La Presa	SO <sub>2</sub> PST
8	J	La Villa	SO <sub>2</sub> , PST
9	N	San Agustín	SO <sub>2</sub> , PST, O <sub>2</sub> , Met
10	C	Atzacapozalco	SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub>
11	F	Tlanepantla	SO <sub>2</sub> , CO, PST, FR, O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , Met
12	L	Xalostoc	SO <sub>2</sub> , CO, PST, FR, O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , Met
13	X	La Merced	H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , CO, PST, FR, O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , HNM, Met
14	T	Pedregal	SO <sub>2</sub> , CO, PST, FR, O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , Met
15	Q	Cerro Estrella	SO <sub>2</sub> , CO, PST, FR, O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , Met
16	U	Plateros	O <sub>3</sub> , CO, PST, Met
17	Y	Hangares	SO <sub>2</sub> , PST, O <sub>3</sub> , HNM, Met
18	P	UAM Izt.	CO, PST, O <sub>3</sub>
19	K	Aragón	CO, PST
20	O	Netzahualcoyotl	CO, PST
21	D	IMP	CO
22	W	Benito Juárez	CO
23	R	Taxqueña	CO
24	U	Insurgentes	CO
25	A	Cuiclahuac	CO

La simbología utilizada en la tabla es:

SO <sub>2</sub>	Dióxido de Azufre	HNM	Hidrocarburos no metánicos
CO	Monóxido de Carbono	FR	Fracción respirable
O <sub>3</sub>	Ozono	MET	Parámetros Meteorológicos
NO <sub>2</sub>	Dióxido de Nitrógeno		(Velocidad y dirección de los
NO <sub>x</sub>	Oxidos de Nitrógeno		vientos, temperatura y humedad
H <sub>2</sub> S	Acido Sulfhídrico		relativa)
		PST	Partículas suspendidas totales

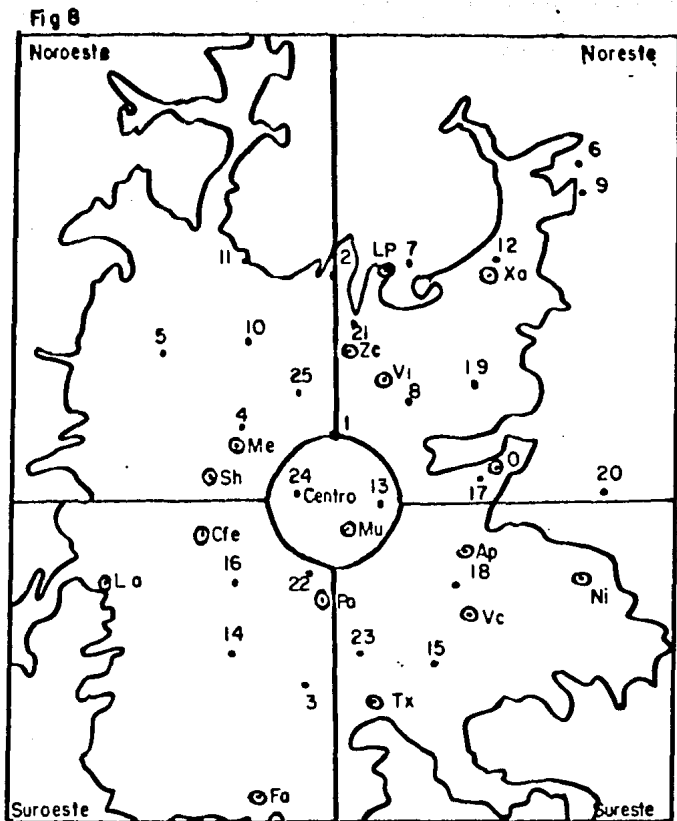
Las concentraciones usualmente se determinan en ppm. Para facilitar la información al público de los datos obtenidos por la RAMA se manejan los índices **IMECA**. En la Tabla IX se dan los factores que se utilizan para cambiar los valores de las mediciones de ppm a puntos **IMECA**.

Para los reportes al público la ZMCM se ha dividido en 5 zonas que son: NE (Noreste), NO (Noroeste), SE (Sureste), SO (Suroeste) y centro; en los principales diarios capitalinos aparecen diariamente los valores máximos alcanzados durante el día anterior, en cada una de las zonas urbanas.

En la figura 8 se muestra un mapa de la ZMCM, en donde se señalan las cinco zonas en que ha sido dividida, la localización de las 25 estaciones de la RAMA y de las 16 estaciones de la red manual de monitoreo.

Tabla IX. Factores de conversión de ppm a IMECA.

Contaminante	Concentración	Factor
NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>	0.00-0.21 ppm	476.90476 [NO <sub>x</sub> ]
	0.21-2.00 ppm	223.463687 [NO <sub>x</sub> ] + 53.07264
O <sub>3</sub>	0.00-0.11 ppm	909.090909 [O <sub>3</sub> ]
	0.11-0.60 ppm	816.326530 [O <sub>3</sub> ] + 10.20409



En el presente trabajo se utilizaron datos de la RAMA, proporcionados por la Sedue, para la semana del 8 al 14 de enero de 1989. Esta semana se eligió por ser una semana en la temporada invernal en la que se presentan problemas de acumulación temprana de contaminantes debido a la presencia de las capas de inversión.

Los datos adquiridos por la **RAMA** pueden ser utilizados para hacer estudios estadísticos de correlación entre las concentraciones de los contaminantes y su relación con los factores meteorológicos. También son útiles para hacer estudios de la evolución temporal de la calidad del aire, así como de la eficacia de las medidas de control que se adoptan para su mejoramiento. Un tercer uso es en la validación de modelos fotoquímicos y de transporte.

En este trabajo se analizan los datos correspondientes a las concentraciones de  $O_3$  y de sus precursores:  $NO_2$ ,  $NO_x$  e hidrocarburos totales, así como a las condiciones meteorológicas durante el período elegido, con objeto de establecer las correlaciones entre ellos.



## **CAPITULO VI**

### **ESTUDIO DE LAS CORRELACIONES ENTRE EL OZONO Y SUS PRECURSORES ATMOSFERICOS.**

**Selección del episodio.**- La selección de los datos de una semana del período invernal (8-14 de enero), se debe a que el invierno es la época del año en la que se presentan con mayor frecuencia inversiones térmicas que retardan la dispersión de los contaminantes acumulados durante la noche y provenientes de las emisiones tempranas. En la Ciudad de México esta época se caracteriza por la falta de vientos y una disminución del lapso de irradiación solar que incide sobre la ZMCM. Esto último dificulta el rompimiento de la capa de inversión y ocasiona que los contaminantes permanezcan atrapados en niveles cercanos a la superficie del suelo, con los consecuentes riesgos para la salud.

**Manejo de los datos.**- Una base de datos tan extensa como la que genera la **RAMA**, necesariamente incluye datos que no son representativos de las condiciones reales. En los datos se pueden introducir errores por el funcionamiento inadecuado de alguno de los equipos, o por falta de una calibración periódica. Tanto para los estudios estadísticos como para la modelación, es necesario identificar y eliminar dichos datos erróneos. La confiabilidad de las bases de datos es crucial cuando éstos se van a utilizar para alimentar y validar modelos. En el apéndice A se proponen los pasos necesarios para establecer un índice de confiabilidad de una base de datos adquiridos automáticamente.

Con el fin de facilitar el manejo de la información se normalizaron las mediciones, transformando su concentración de ppm a puntos IMECA. Para los datos de calidad del aire de ozono y óxidos de nitrógeno; para realizar ésta transformación se utilizaron los factores de conversión que se presentan en la Tabla IX.

Los datos de las concentraciones de los hidrocarburos se manejaron tal como se obtuvieron, ya que a la fecha de la elaboración de este estudio no se contaba con una norma para las emisiones de hidrocarburos.

Los datos de temperatura se presentan en grados celsius; los de dirección de los vientos en grados tomando como referencia que la dirección norte representa a los 0 grados, debe hacerse notar que la dirección del viento reportada indica la dirección de entrada de los vientos, es decir, desde donde sopla el viento. Los datos de velocidad de los vientos están reportados en metros/segundo.

Los datos de concentración de ozono, óxidos de nitrógeno, y temperatura se graficaron como función del tiempo, utilizando el paquete de graficación llamado "Energraph".

Para el estudio de la dispersión y transporte de contaminantes debido a los vientos se elaboraron mapas de vientos en una región alrededor de la ZMCM, que cubre una superficie de 4256 km<sup>2</sup>. Para la elaboración de estos mapas se utilizó un programa de interpolación vectorial en dos dimensiones que toma en cuenta la topografía de la región.

El programa desarrollado se basó en una subrutina de interpolación en dos dimensiones tomada de un programa de modelación fotoquímica, desarrollado en Caltech y adaptado a las condiciones de la Ciudad de México por el grupo de Química Ambiental del Instituto Mexicano de Petróleo. Los datos de interpolación vectorial se alimentan luego a un programa de despliegue gráfico. En los mapas cada celda representa una superficie de 16 km<sup>2</sup>, en ellos se señalan las escalas y la referencia de los datos graficados.

De cada una de las esquinas de las celdillas de los mapas de patrones de vientos sale una flecha cuya dirección indica la dirección del viento y cuya longitud está relacionada con la magnitud de la velocidad del viento (medido en m/s).

Las gráficas de la evolución temporal de los contaminantes elaboradas para poder encontrar correlaciones entre el ozono y sus precursores ambientales durante el período elegido se encuentran en el Apéndice B, mientras que los mapas de vientos de algunos días y horas seleccionados se dan en el Apéndice C.

## CAPITULO VII

### RESULTADOS

La primera conclusión que puede hacerse a partir del análisis visual de las gráficas de los contaminantes como función del tiempo es que, como era de esperarse, la evolución de las concentraciones de los diversos contaminantes están íntimamente ligadas al ritmo de las actividades humanas, es decir los máximos se alcanzan durante el día.

En particular, las concentraciones máximas de los contaminantes primarios, coinciden con las horas de mayor actividad, es decir, debido al transporte o a la industria; por su parte, los contaminantes secundarios aparecen defasados con respecto a las horas pico de las actividades diurnas, debido al tiempo empleado en su formación en la atmósfera.

En las gráficas de la evolución temporal de las concentraciones de ozono y óxidos de nitrógeno, resalta a primera vista la diferencia entre el día 1 y el resto de los días analizados. Esto se debe a que dicho día, el 8 de enero de 1989, correspondió a un domingo, día en que las actividades cotidianas disminuyen sensiblemente. De hecho, como se observa en la gráfica 1, en ese día se encuentran las concentraciones más bajas de los contaminantes.

Además de la simple graficación que reporta el nivel de concentración alcanzado por los diversos contaminantes; el análisis del comportamiento de algunos de ellos puede conducir a correlaciones posteriores. Según se presentó en la Tabla V, las emisiones más significativas de  $\text{NO}_x$  e hidrocarburos, provienen de

las fuentes móviles, lo que permite tratar de determinar la influencia de los automóviles en la calidad del aire.

En todas las gráficas, menos las del día 1, se observa una alta concentración de dichos contaminantes, precursores del ozono, sobre todo entre las 8 de la mañana y las 12 del día con un segundo aumento entre las 6 de la tarde y las 10 de la noche. En la gráfica 2 se despliegan las emisiones de los hidrocarburos, en ella se aprecia que las concentraciones más altas coinciden con las horas en las cuales la mayoría de las personas que utilizan automóviles, lo ocupan. Estos períodos normalmente corresponden a los horarios de entrada o la salida de los empleados, a la hora de dejar a los hijos en la escuela, etc., y son éstas las llamadas horas pico, en términos de congestionamiento vial.

Se observa que para casi todas las estaciones y días, se cumple el ciclo del ozono o de los óxidos de nitrógeno, descrito en el capítulo de fotoquímica (Cap. III). A las primeras horas del día, en las que no hay suficiente luz del sol, la concentración de ozono permanece baja, según el día avanza la concentración aumenta hasta alcanzar un máximo entre las 8 y las 16 horas, para luego disminuir conforme se va poniendo el sol y disminuye la cantidad de irradiación. Este fenómeno se hace patente si se sobreponen las gráficas 3, 4 y 5.

La sobreposición de las gráficas de concentración de ozono con las gráficas de concentración de óxidos de nitrógeno, nos muestra también que la aparición del pico del ozono corresponde a una disminución considerable de las concentraciones de los óxidos de nitrógeno, lo que implica que estos óxidos se

están transformando para dar lugar a la formación del ozono, según las reacciones fotoquímicas descritas en el capítulo III.

Al comparar las gráficas de concentración de ozono con las de temperatura se observa que ambas gráficas siguen un mismo patrón general, gráficas 6 y 7, sin embargo, esto no implica la existencia de una correlación directa o lineal entre la formación del ozono y la temperatura.

Debido a la latitud a la que se encuentra la ZMCM, estamos acostumbrados a pensar que existe una relación directa entre la cantidad de luz y la cantidad de calor, o temperatura ambiente; como consecuencia se piensa que existe una correlación directa entre la formación de ozono y la temperatura. Esta suposición no es necesariamente cierta, aunque ambas, temperatura y formación del ozono dependen de la cantidad de irradiación que incide sobre la región.

En la tabla X, se dan algunos datos sobre las diferentes concentraciones de ozono medidas a lo largo de la semana teniendo como parámetro fijo una temperatura ambiente de 19.3 °C. En la tabla también se indica como referencia la hora, el día y la estación en la que se midió. Es de notarse que para un mismo día y en la misma estación mientras la temperatura presenta un mismo valor, la concentración de ozono varía.

Tabla X. Niveles de ozono medidos a una temperatura de 19.3 °C.

Concentración	Día	Hora	Estación
0.291	2	16:00	T
0.170	2	17:00	T
0.042	3	18:00	Q
0.064	5	16:00	T
0.092	5	17:00	T
0.083	5	19:00	X
0.089	6	18:00	F
0.086	6	18:00	X
0.098	7	13:00	Q

Por otra parte, en la figura 9 se reportan mediciones de la cantidad de irradiación durante la semana en estudio, se puede observar que existe una correlación entre los máximos, presentándose ambos aproximadamente a la misma hora; aunque hay un ligero retardo del pico de ozono con respecto al máximo de irradiación. Sin embargo, no existe correlación directa entre los valores máximos presentados, ya que el mayor máximo de irradiación se presenta el día 6 mientras que el máximo de ozono el día 2.

En la gráfica de la evolución de ozono con el tiempo (gráfica 1) se observa, que casi todos los días se rebasa la norma de calidad del aire durante lapsos mayores a una hora, la norma corresponde a un valor de 100 puntos **IMECA**. Durante la semana analizada, la norma de calidad del aire es violada casi todos los días, manteniéndose las concentraciones arriba de los 100 puntos durante períodos de cuatro horas diarias en promedio, el máximo observado llega hasta un valor de 275 puntos **IMECA**.

Los índices de óxidos de nitrógeno son violados con menor frecuencia. Sin embargo, sólo hay tres estaciones, Merced, Pedregal y Tlalnepantla, que reportan las emisiones de óxidos de nitrógeno totales, es decir, la suma de todos los óxidos de nitrógeno, estas mismas tres estaciones realizan las mediciones de  $\text{NO}_2$ .

Es en la estación Merced, que está ubicada en una zona con una alta concentración vehicular donde se observa que la norma de calidad del aire es rebasada todos los días (gráfica 8). Los datos de la estación del Pedregal, ubicada en una zona residencial, muestran que la norma es violada una sola vez en toda la semana analizada (gráfica 9), lo que indica que el ozono detectado frecuentemente en altas concentraciones por esta estación, proviene de otras zonas de la ciudad y llega aquí transportado por los vientos. Por último, se cuenta con los datos de la estación de Tlanepantla, que es una zona industrial; las mediciones de esta estación muestran que la norma también es violada aunque no todos los días con niveles menos considerables que para La Merced (gráfica 4).

Las gráficas de los hidrocarburos como función del tiempo muestran un aumento en la concentración de éstos entre las 8 y las 12, y otro aumento entre las 6 de la tarde y las 10 de la noche, lo que muestra una acumulación de los hidrocarburos, debido a que a estas horas ha cesado la producción atmosférica de ozono, en la que los hidrocarburos participan activamente (gráfica 2). Esta conclusión también se apoya observándose que cuando la concentración de ozono aumenta, la de hidrocarburos disminuye, lo que los revela como



precursores en la formación de ozono. Cabe recordar que para los hidrocarburos no existe todavía una norma establecida.

En las gráficas de temperatura como función del tiempo, se observa la presencia de islas de calor, éstas se manifiestan por un aumento en la temperatura durante la noche; el aumento de temperatura se debe a la emisión del calor absorbido durante el día por las calles y edificaciones, el que durante la noche es emitido.

Las islas de calor se observan durante la semana analizada, en las estaciones de El Pedregal, adonde se ve que durante el día 2, aumentó la temperatura alrededor de las 21 horas (gráfica 10). El mismo fenómeno se observa para la misma estación en los días 5 y 7, sin embargo, el mismo fenómeno en otras estaciones sólo se detecta en la estación ENEP Acallán, durante el día 1 (gráfica 11) y en la estación Plateros el día 7 (gráfica 6). Lo que parece indicar que la naturaleza del suelo es determinante para la manifestación de éste fenómeno.

De las gráficas de vientos, en el apéndice C, se observa que los días analizados, en general siguen un mismo patrón de vientos, que es un patrón típico para los días de invierno. Se observa que durante la noche y la madrugada soplan vientos que bajan de la montaña, salvo en el noroeste que soplan los vientos hacia la montaña, pero conforme se va calentando la ladera de las montañas que rodean a la zona urbana, los vientos cambian de dirección.

A las nueve horas, el suelo de las laderas se ha calentado lo suficiente para permitir el flujo de viento hacia arriba de la montaña, lo que ocasiona que el patrón de vientos de la ZMCM presente una dirección preferente hacia el suroeste de la ciudad. Esta región, que es sobre todo de tipo habitacional, se detecta como una de las regiones más contaminadas.

Otra característica que se observa en estos mapas es que de las cero a las once horas, los vientos que se presentan están en calma debido a la inversión térmica, muy frecuente en esta época del año.

A partir de las doce del día, se rompe la capa de inversión y empiezan a soplar vientos más fuertes y con dirección del valle a la montaña. Es a partir de las 18 horas cuando los vientos cambian de dirección nuevamente y empiezan a soplar hacia el valle, para volver a presentar una situación de calma desde las 19 horas aproximadamente. Este comportamiento de los vientos se explica por el fenómeno del flujo de vientos valle-montaña, que fue descrito en el capítulo IV.

Los mapas de vientos presentados en el Apéndice C corresponden a los días 1 y 4 de la semana analizada. Como se mencionó anteriormente, durante todos los días se puede observar un patrón muy similar, como el que corresponde al día 1, por lo que éste se eligió de manera arbitraria. Para el día seleccionado se presentan los mapas correspondientes a cada hora del día, ya que de esta manera se puede observar detalladamente como se desarrolla el ciclo de los vientos.

Este comportamiento de los vientos, explica el hecho de que en las zonas netamente industriales del valle no se presenten índices de contaminación tan altos como los detectados en zonas exclusivamente habitacionales.

El patrón representado como típico se cumple para seis de los siete días analizados. El día en que no se cumple este patrón fue el 11 de enero, día 4 de la semana, en el que durante la madrugada se presentaron vientos que soplaban del valle a la montaña pero a partir de la siete de la mañana se empieza a cumplir el patrón normal de vientos.

Cabe aclarar que el programa de interpolación utilizado, interpola los valores de tal manera que si hay vientos en una región de la ciudad, estos, de alguna manera van a afectar a los demás vientos que estén soplando en ese momento en el valle, y la importancia de esta dependencia la va a dar la topografía de la región. Es por esto que si no se tuvieron los datos para una determinada hora, los patrones de vientos se van a ver modificados. Esto explica porque el 11 de enero se presenta un patrón de vientos distinto, y es que para ese día, no se reportaron mediciones hasta las siete de la mañana.

## CAPITULO VIII

### CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo, se hizo patente como algunos fenómenos meteorológicos como son la temperatura, velocidad y dirección de los vientos, contribuyen a la ocurrencia de los episodios de contaminación. En el caso de la velocidad y dirección de los vientos, estos parámetros juegan un papel definitivo en la dispersión y transporte de los contaminantes. Estos parámetros ayudan a explicar la presencia de los contaminantes en regiones alejadas a las fuentes de emisión, regiones donde el uso del suelo no corresponde a la clase de contaminantes esperados ni a los niveles de contaminación detectados.

Por otro lado, se hizo evidente que no existe una correlación directa entre la formación de ozono y los parámetros asociados con la de irradiación, es decir, la temperatura ambiente y la cantidad o duración de la irradiación.

En cuanto a las concentraciones de los contaminantes y la manera en como estos influyen a la formación del ozono, se observó que existe una relación directa aunque no lineal entre la formación de ozono y la cantidad de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos presentes en la atmósfera, tanto remanentes como emitidos; no se observa tampoco una relación causa-efecto directa entre las concentraciones iniciales de óxidos de nitrógeno y los niveles de ozono desarrollados durante el día.

Es importante mencionar que si bien el avance del conocimiento en algunos aspectos de los fenómenos relacionados con la contaminación como son la

dispersión y el transporte están más o menos bien comprendidos e incluso existen modelos de predicción, la parte correspondiente a la fotoquímica no está del todo entendida, por lo que un avance del conocimiento en ésta área representaría una gran ventaja para poder diseñar las estrategias necesarias para el control de la contaminación.

Las actividades humanas juegan un papel crucial en el desarrollo de los episodios de contaminación, ya que las emisiones se rigen por el ritmo de las actividades realizadas por la población, hemos visto que las horas de mayores emisiones de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, que son los precursores del ozono, coinciden con las horas de mayor tráfico vehicular, otro ejemplo es la disminución en la concentración de los contaminantes que se detecta los domingos.

Otra observación importante que se deriva de éste trabajo es que el primer paso a realizar en un estudio completo de la calidad del aire es contar con una buena base de datos que permita comprender los fenómenos relevantes al tipo de contaminación que se presenta en la zona que se desea estudiar, es decir, identificar los principales contaminantes, los fenómenos meteorológicos que en ella ocurren, la cantidad de emisiones y la localización geográfica del lugar.

Para poder realizar un estudio global de la calidad del aire en la ZMCM más confiable, se requiere implementar una serie de acciones que complementen las medidas disponibles a la fecha. Para esto es necesario un mejoramiento en los sistemas de mediciones de los contaminantes y de los parámetros meteorológicos, es decir, aumentar el número de estaciones de monitoreo con el fin de tener un mayor número de valores medidos. Además se deberían de

aumentar los detectores en las estaciones ya existentes, de tal manera que reporten todos los parámetros, ya que como se mencionó no todas las estaciones detectan los mismos parámetros, se ha visto que sucede que las concentraciones de ciertos contaminantes son más altas en lugares alejados de las fuentes de emisión. Una base de datos incompleta resta validez a las conclusiones.

Para mejorar la calidad del aire de la ZMCM se requiere de la participación de toda la ciudadanía que en ella habita, tanto a nivel individual como a nivel institucional, es por esto que nos parece interesante mencionar a continuación las líneas generales que por iniciativa presidencial, en 1989, se instrumentaron una serie de estrategias de acción que constituyen el Programa Integral de Lucha **Contra la Contaminación atmosférica de la ZMCM:**

- 1.- Mejoramiento de la calidad de los combustibles.**
- 2.- Racionalización y restructuración del sistema de transporte urbano.**
- 3.- Modernización de tecnologías de producción e instalación de sistemas de control de emisiones vehiculares e industriales.**
- 4.- Rescate y recuperación de áreas ecológicas sensibles y/o deterioradas.**

Con base a estas cuatro estrategias de control se han definido 33 medidas cuya aplicación se inició a partir del período invernal 1989-90.

Dentro de éstas estrategias se presenta el programa "Hoy no circula" y el programa "Cada familia un árbol", que requieren de una participación ciudadana activa. Este programa también incluye una serie de mejoras a los combustibles.

Otra sugerencia, que nos parece útil para evaluar el impacto que tiene en la población los episodios de contaminación que ocurren en la ZMCM, es el de realizar una serie de estudios epidemiológicos, orientados al efecto en el receptor. Estos estudios tendrían como resultado adicional el poder establecer de una manera mejor orientada las prioridades que se deben tener en la serie de acciones tendientes a lograr un mejoramiento de la calidad del aire.

Aún queda mucho por hacer en el terreno de la química atmosférica, pero se debe empezar a explorar ésta con una base sólida. Este trabajo presenta un panorama general de los fenómenos que ocurren en la ZMCM; los que deben ser comprendidos y analizados antes de proseguir con estudios más complicados o con la elaboración de medidas tendientes a mejorar la calidad del aire la semana analizada.

## APENDICE A

Para establecer un índice de confiabilidad en una base de datos adquiridos automáticamente se recomienda seguir los siguientes pasos:

### 1. Establecer que tan completa es la base de datos.

Para lograr esto, se sugiere el cálculo de un índice de DISPONIBILIDAD, para cada variable y estación que la mide:

Este índice se determina como:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Número de horas con dato}}{\text{Número de horas en el período}}$$

Este índice calculado para períodos anuales, mensuales, e incluso semanales, permitirá de una manera rápida identificar aquellos períodos para los que se cuenta con información completa.

### 2. Identificación del significado físico de las medidas.

Tiene por objeto identificar y eliminar todos aquellos valores que sean físicamente imposibles, es decir, que excedan los mínimos o máximos razonables. En la siguiente tabla se ilustra este concepto.

Variable	Mínimo	Máximo
Contaminantes (ppm)	0.0	
Velocidad del viento (m/s)	0.0	
Dirección del viento (grados)	0	360
Humedad relativa (porcentaje)	0	100
Temperatura (°C)	-10	40



Para calcular el índice de confiabilidad primero se puede calcular otro índice: La proporción de valores imposibles (PVI) definida como:

$$PVI = \frac{\text{Número de horas con valores que exceden los límites}}{\text{Número de horas con datos en el período}}$$

al igual que el índice de disponibilidad, la PVI se calculará por variable, estación monitorea y año, mes o semana.

### 3. Índice de Inestabilidad.

Se calcula a partir de los promedios mensuales horarios y las desviaciones típicas respecto a la media.

$$\text{INESTABILIDAD} = \sum \frac{\text{desviación (i)}}{\text{promedio (i)}}$$

variables con poca variación entre un día y otro, como la temperatura, deben mostrar un índice de inestabilidad de alrededor de 0.1, mientras que los contaminantes muestran valores mayores para este índice. En ambos casos, un valor de inestabilidad demasiado alto comparado con otras estaciones o meses puede indicar problemas de calibración de los aparatos de medición durante ese período.

### 4. Filtrado de los datos.

Tiene como objetivo identificar todos aquellos valores que estén fuera de un intervalo alrededor del promedio de más o menos  $n$  desviaciones; donde  $n \geq 2$ , el valor específico de  $n$ , depende de la variable analizada.

Lo más probable es que los valores detectados en esta fase, sean erróneos, pero se recomienda antes de eliminarlos hacer un reporte en el que se establezca la estación, fecha y hora a la que se presentan estos datos sospechosos. Al hacer esta recomendación se está pensando sobre todo en la posibilidad de eliminar accidentalmente algún pico de contaminación que sea real.

Se recomienda repetir los pasos 3 y 4 al menos dos veces. Al final del filtrado, se propone calcular una proporción de valores filtrados (PVF).

$$PVF = \frac{\text{Número de datos horarios filtrados}}{\text{Número de datos en el periodo}}$$

El cual se puede calcular por año, mes o semana.

#### **5. Índice de confiabilidad.**

Este índice permite determinar la confiabilidad de un conjunto de datos y se calcula como:

$$\text{CONFIABILIDAD} = 1 - PVI - PVF$$

## APENDICE B

En esta sección se presentan solamente aquellas gráficas que se seleccionaron por ser las más representativas para el estudio del ozono, sus precursores atmosféricos y las condiciones meteorológicas.

Hay que mencionar que en todas las gráficas que se presentan en esta sección, el eje X representa el tiempo medido en horas.

En la siguiente relación se enumeran las unidades que se representan en el eje Y:

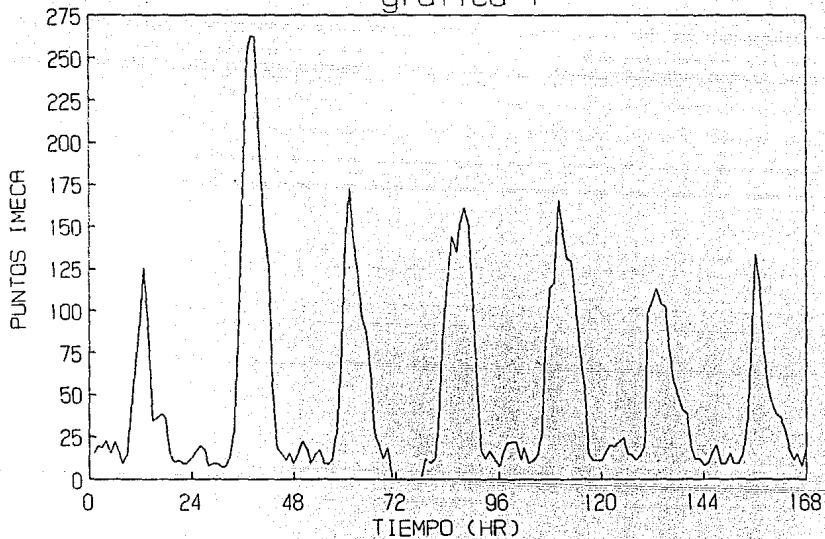
Gráfica #1	Puntos IMECA
Gráfica #2	ppm
Gráfica #3	Puntos IMECA
Gráfica #4	Puntos IMECA
Gráfica #5	Puntos IMECA
Gráfica #6	Grados Celsius
Gráfica #7	Puntos IMECA
Gráfica #8	Puntos IMECA
Gráfica #9	Puntos IMECA
Gráfica #10	Grados Celsius
Gráfica #11	Grados Celsius

Otros datos como la fecha, estación de monitoreo, parámetro graficado se encuentran especificados dentro de las mismas gráficas.

# OZONO

ESTACION PEDREGAL (T)

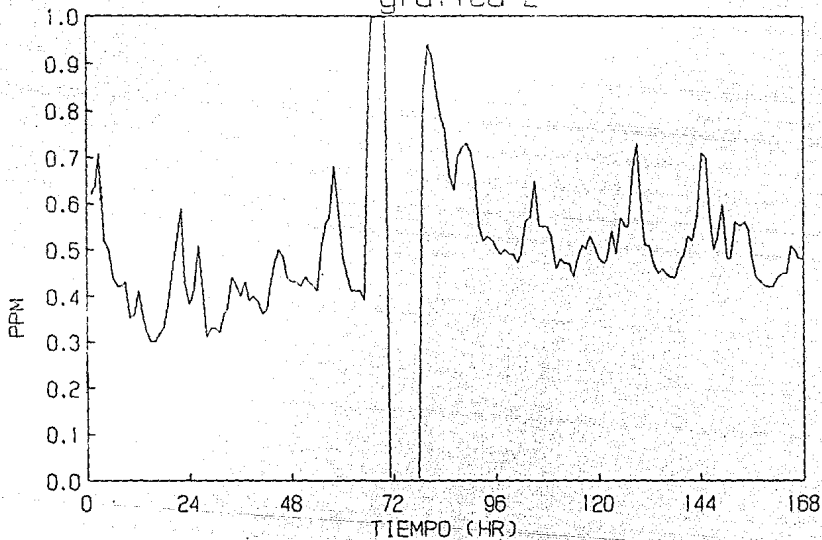
grafica 1



# HIDROCARBUROS

ESTACION LA MERCED (X)

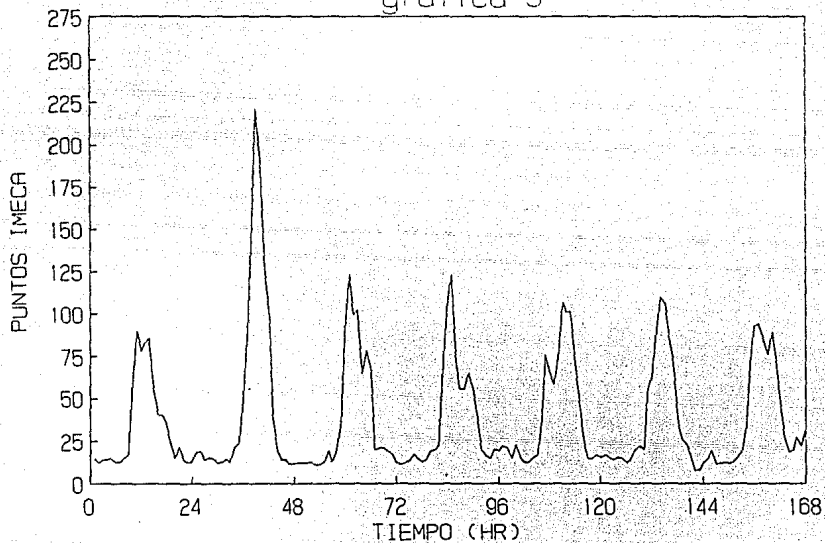
grafica 2



# OZONO

ESTACION TLANEPANTLA (F)

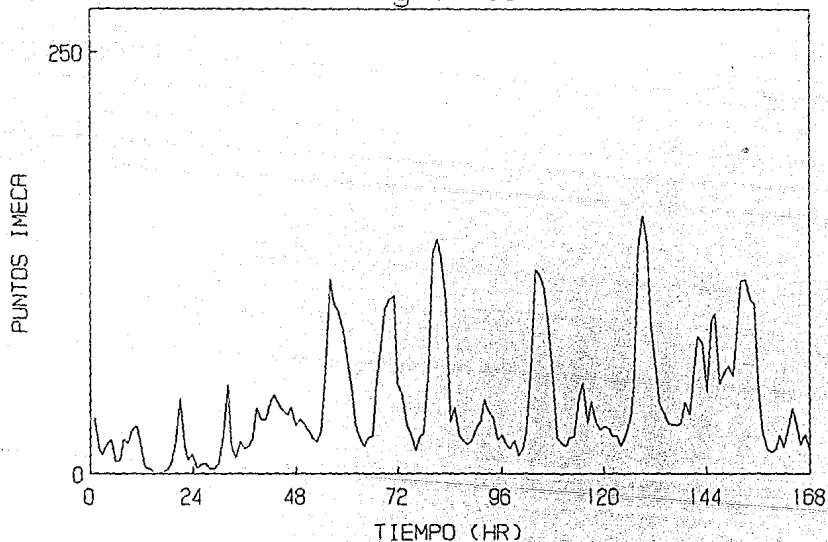
grafica 3



# OXIDOS DE NITROGENO

ESTACION TLANEPANTLA (F)

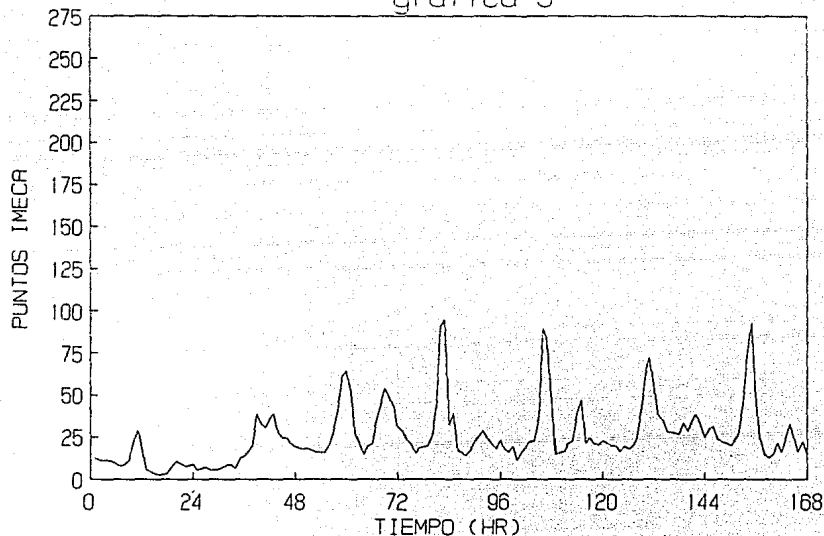
grafica 4



# DIOXIDO DE NITROGENO

ESTACION TLANEPANTLA (F)

grafica 5

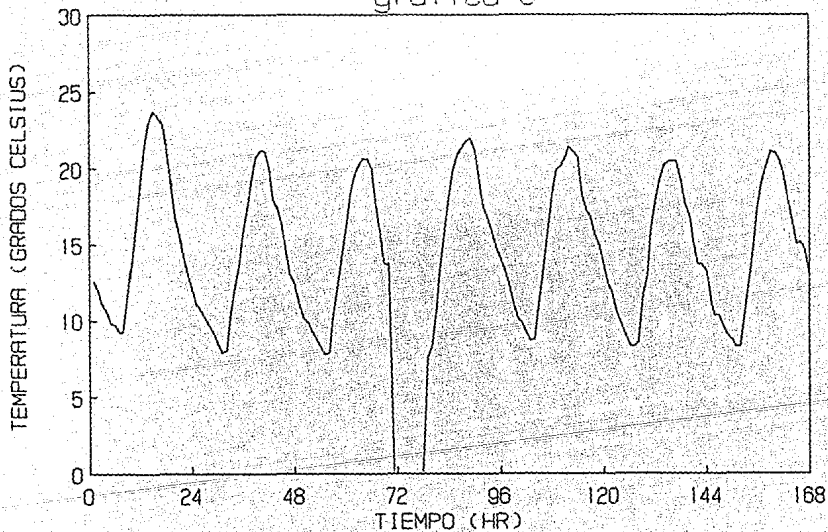




# TEMPERATURA

ESTACION PLATEROS (U)

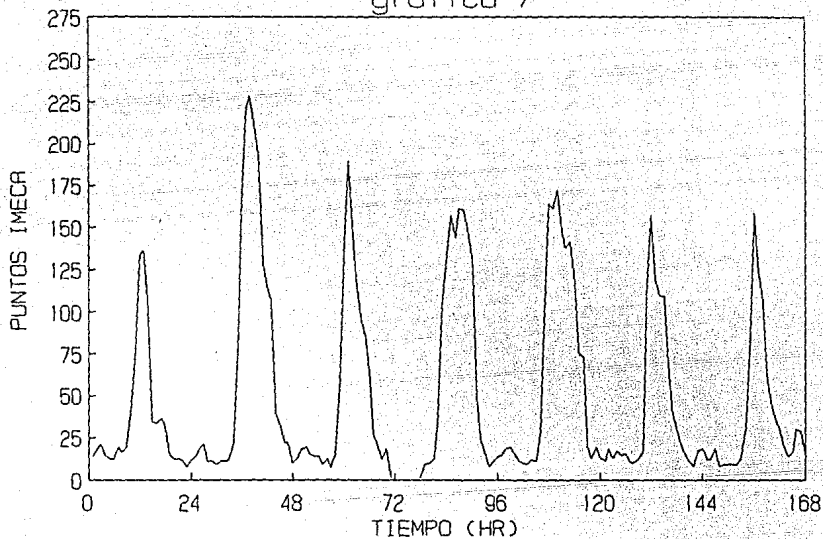
grafica 6



# OZONO

ESTACION PLATEROS (U)

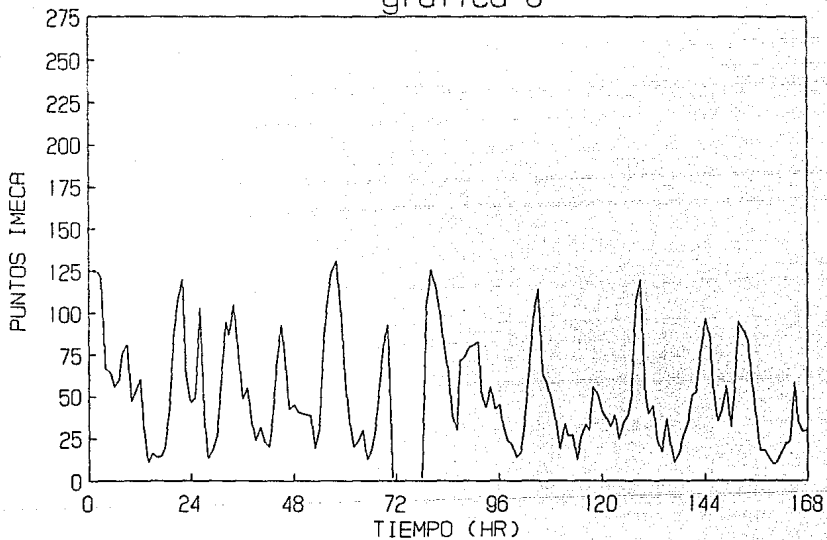
grafica 7



# OXIDOS DE NITROGENO

ESTACION LA MERCED (X)

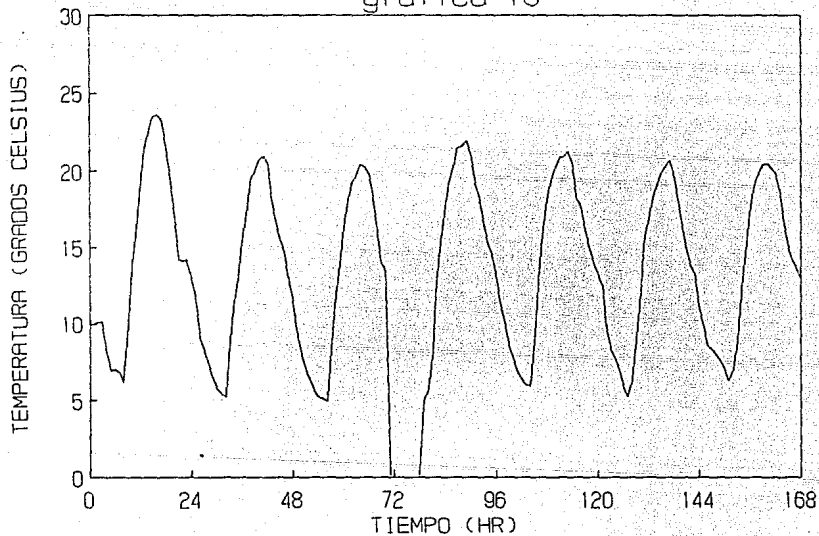
grafica 8



# TEMPERATURA

ESTACION ENEP ACATLAN (G)

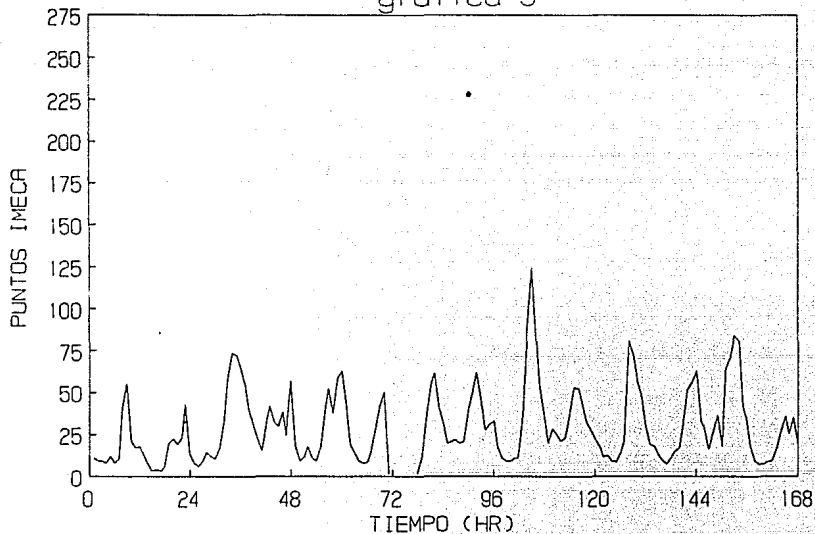
grafica 10



# OXIDOS DE NITROGENO

ESTACION PEDREGAL (T)

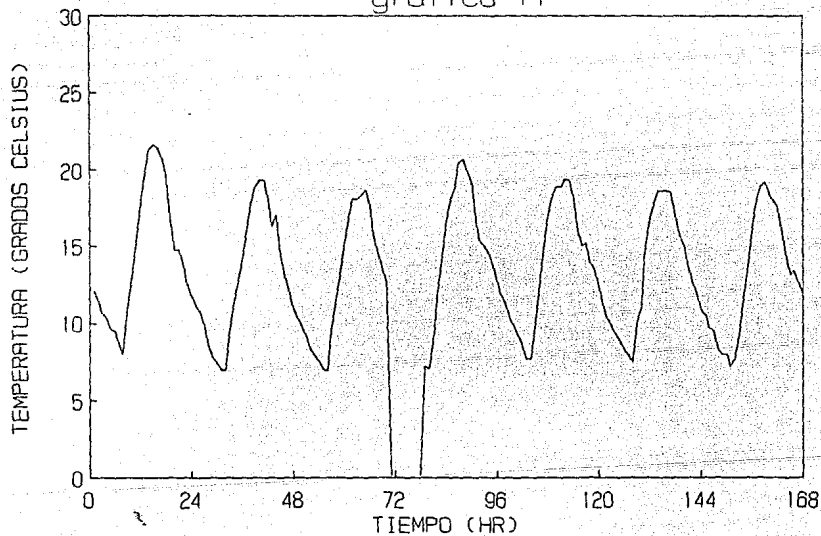
grafica 9



# TEMPERATURA

ESTACION PEDREGAL

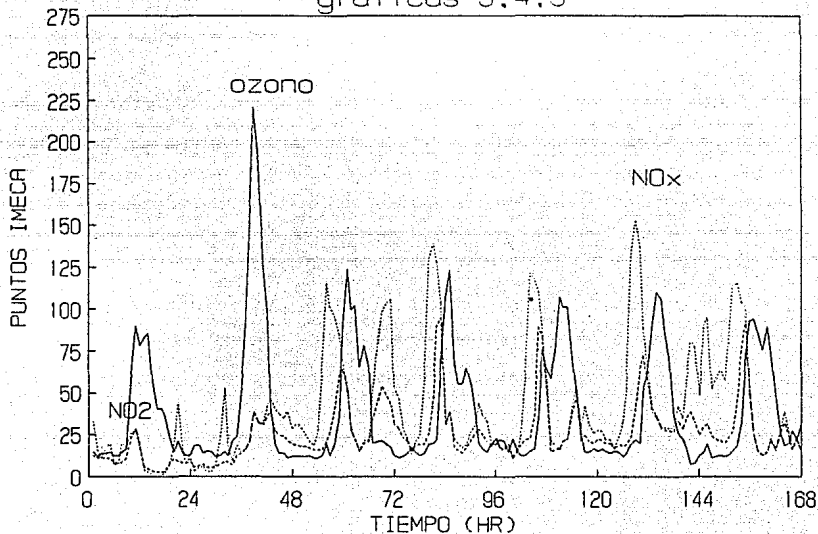
grafica 11



# CICLO DEL OZONO

ESTACION TLANEPANTLA (F)

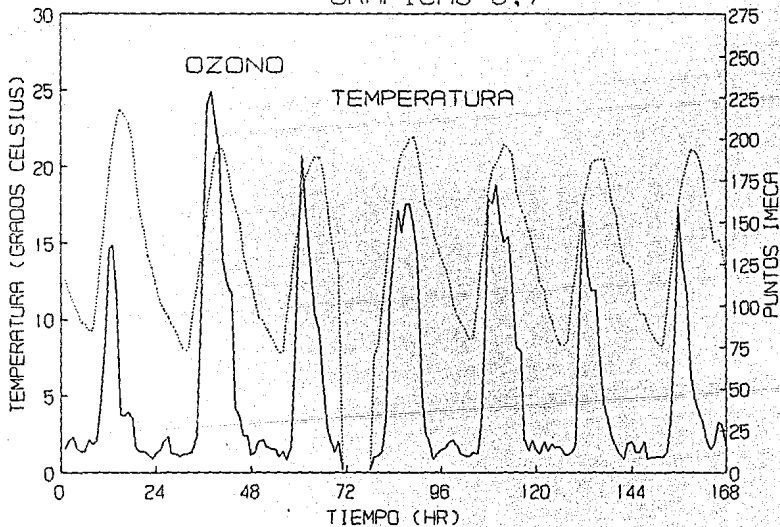
graficas 3.4.5



# TEMPERATURA Y OZONO

ESTACION PLATEROS (U)

GRAFICAS 6,7

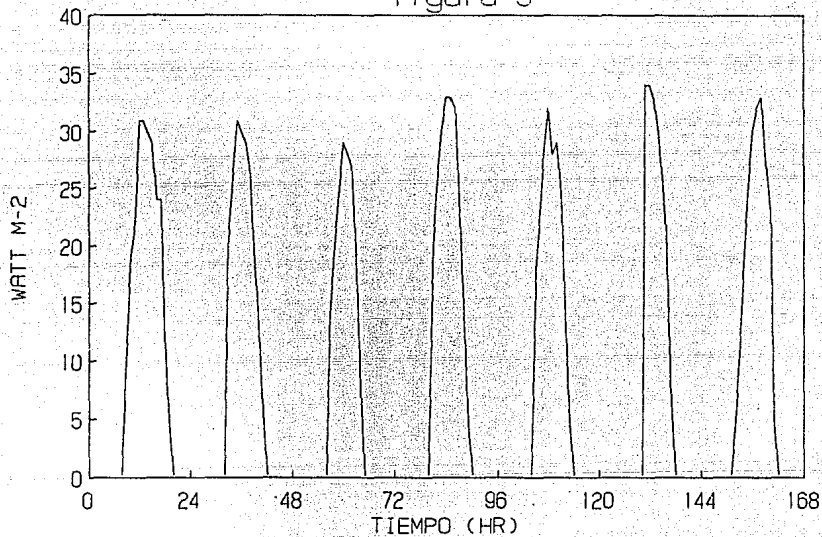




# IRRADIACION

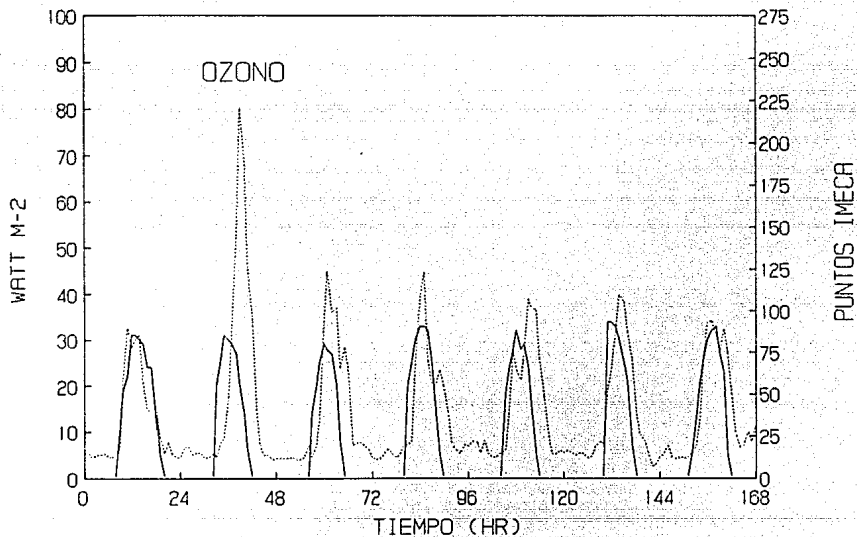
ESTACION IMP (D)

figura 9



# IRRADIACION Y OZONO

grafica 3, figura 9



ESTA TESIS NO PUEDE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

## APENDICE C

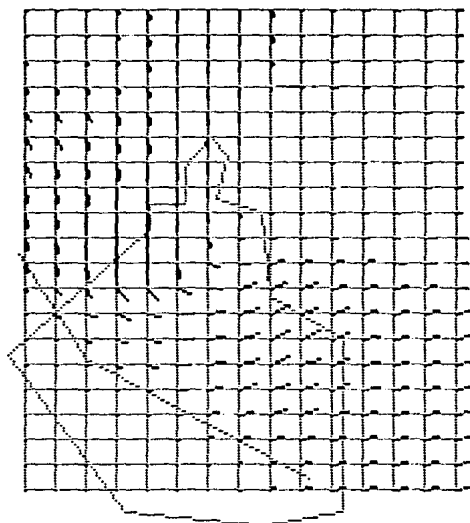
En esta sección se presentan los mapas de vientos elaborados para los días 8 y 11 de enero de 1989, que corresponden a los días 1 y 4 respectivamente, de la semana analizada.

**HORA: 1.00**

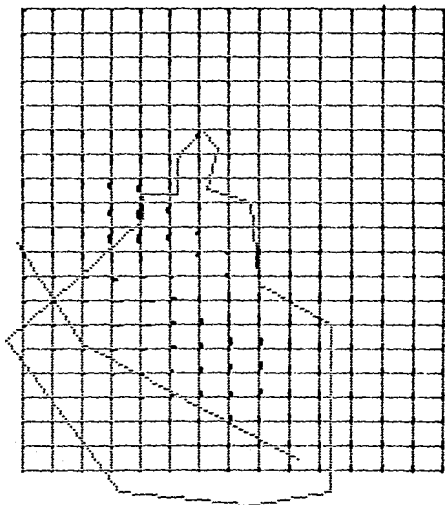
**DIA 1 (8-Ene-89)**

**Escalas:**

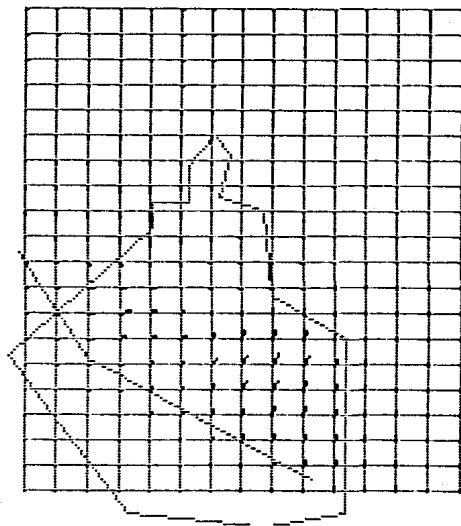
 **5 m/s**     **4 km**



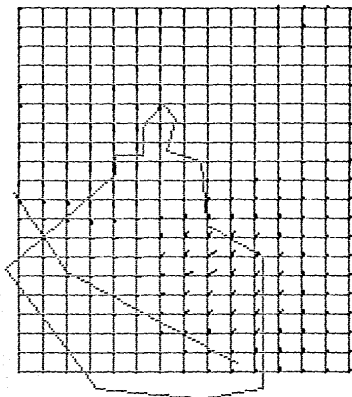
HORA: 2.00



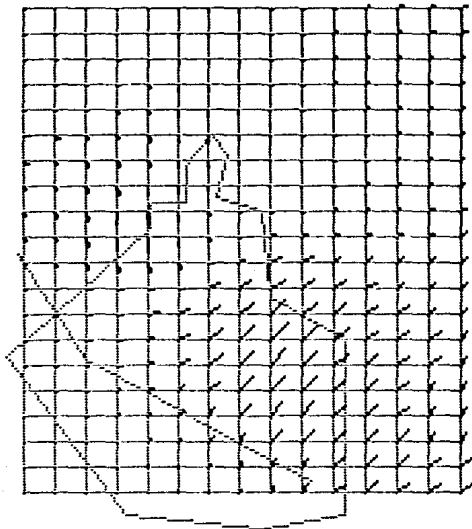
HORA: 3.00



HORA: 4.00



HORA: 5.00

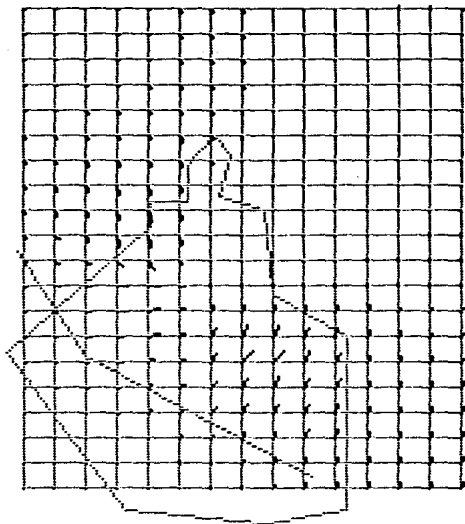






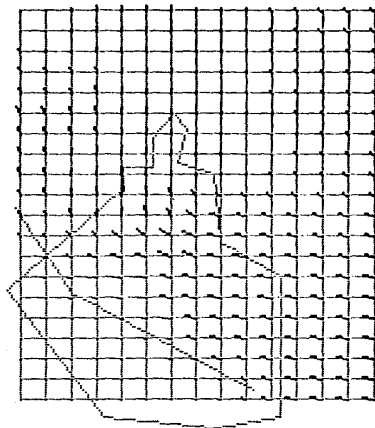


HORA: 8.00

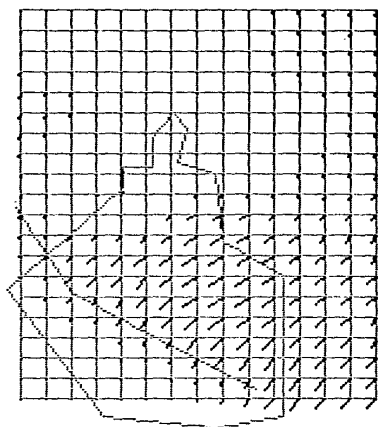




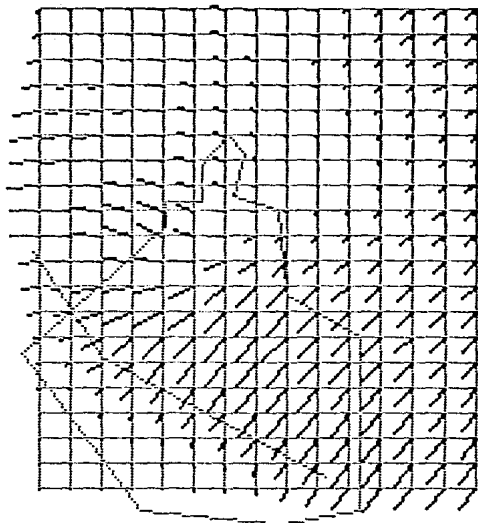
HORA: 10.00



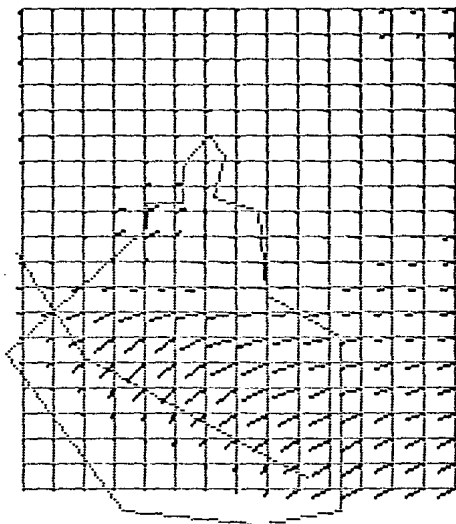
HORA: 11.00



HORA: 12.00

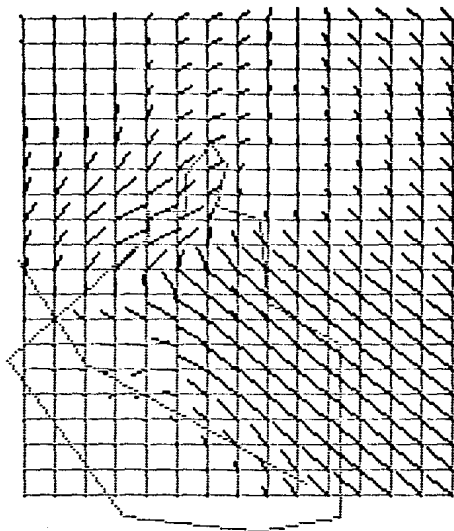


HORA: 13.00

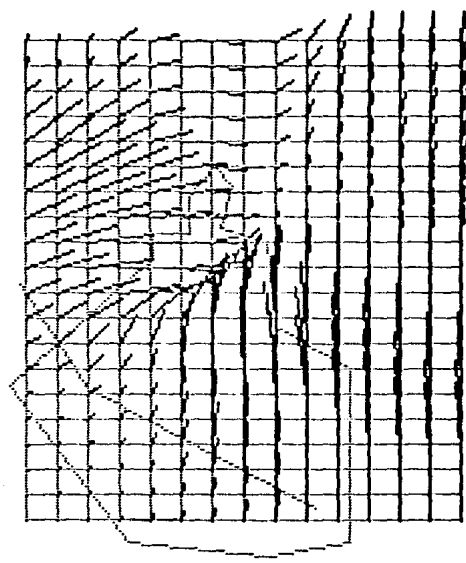




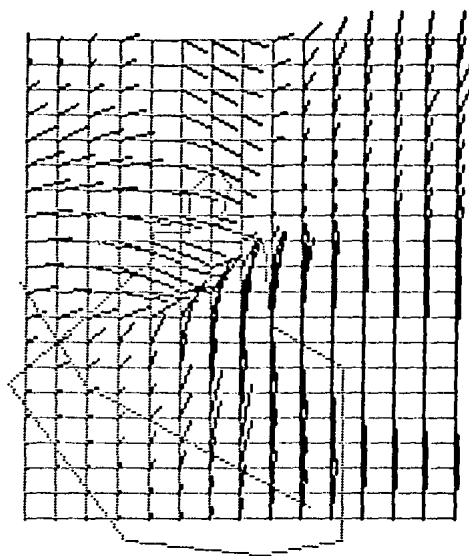
HORA: 14.00



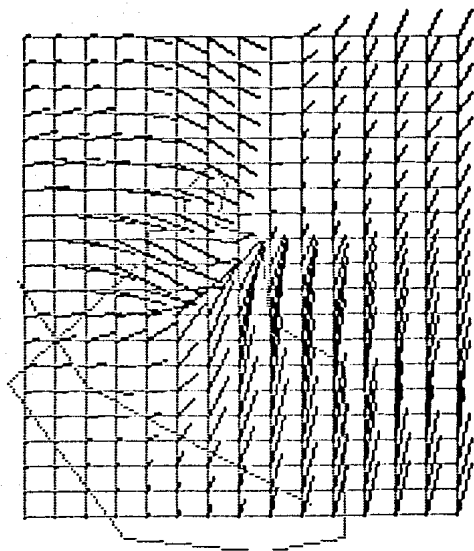
HORA: 15.00



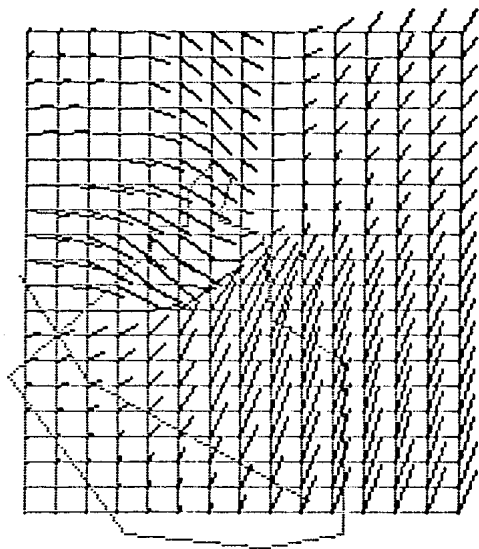
HORA: 16.00



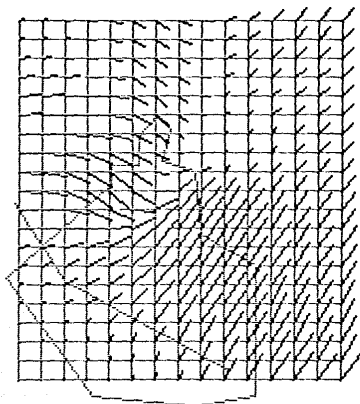
HORA: 17.00



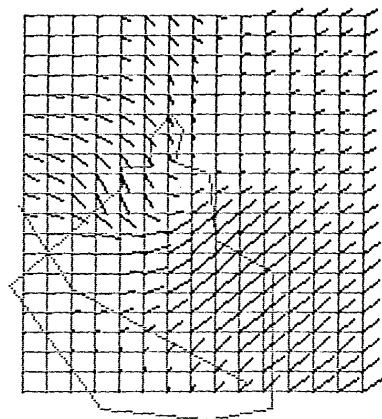
HORA: 18.00



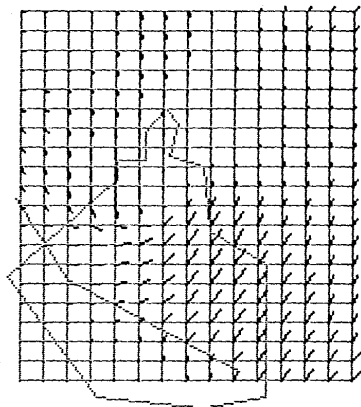
HORA: 19.00



HORA: 20.00



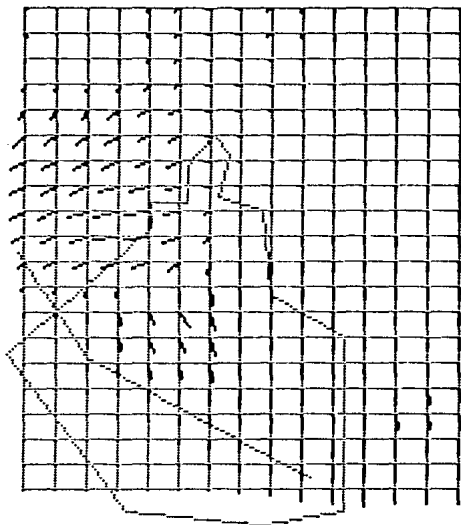
HORA: 21.00







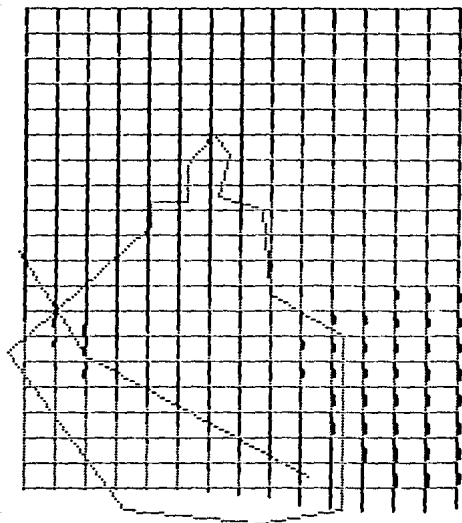
HORA: 23.00



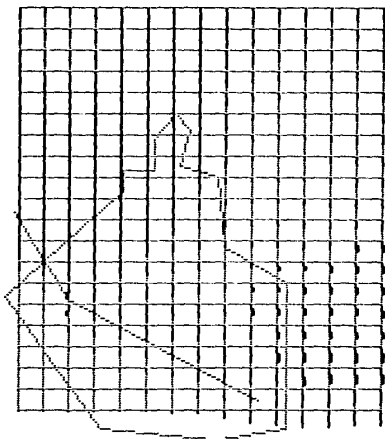


**HORA: 1.00**

**DIA 4 (11-Ene-89)**



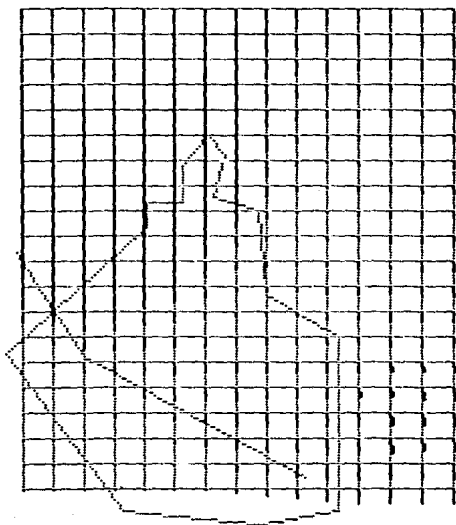
HORA: 2.00







HORA: 5.00

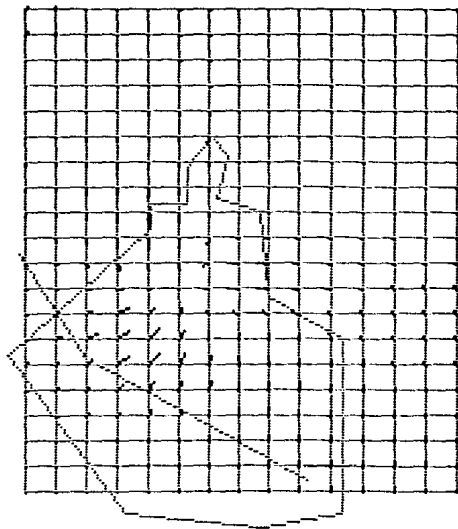




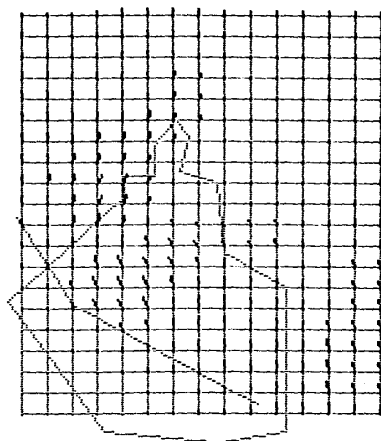




HORA: 8.00



HORA: 9.00



## BIBLIOGRAFIA

Argento V. K., "Ozone, Nonattainment Policy vs. the Facts of Life". Chemical Engineering Progress. December. 1988. pp 50-54.

Bebin J., "La Depuración Biológica del agua". Mundo Científico. Vol 8. N° 78. pp 276-283.

Bravo H. A.

"La contaminación del Aire en México".

Ed. Universo Veintiuno.

1987. México.

pp 127-220.

Cano A. R. "Análisis de confiabilidad de la base de datos de Sedue". Instituto Mexicano Del Petróleo. Reporte Interno. Agosto 1990.

Cruz N. X. "Modelos fotoquímicos de contaminantes atmosféricos urbanos".

Enviado para su publicación a la revista Ciencia.

DDF. "Programa Integral de lucha contra la contaminación atmosférica en la ZMCM". 1989.

Environmental Protection Agency.

"Course SI:409. Basic Air Pollution Meteorology. Student Guidebook".

December 1982.

Environmental Protection Agency.

"Environmental Progress and Challenges".

EPA's update.

August 1988. U.S.A.

Falcón Y. B., "Contaminación Atmosférica de Origen Fotoquímico".  
Ciencia y Desarrollo. Vol XV. N° 88. Sep-oct 1989. pp 67-73.

Finlayson Pitts J. B. and Pitts N. J.  
"Atmospheric Chemistry. Fundamental and Experimental Techniques".  
John Wiley and Sons.  
1982. U.S.A.  
pp 3-56.

Jáuregui E., "Aumento en la Turbiedad del Aire en la Ciudad de México". Ing.  
Hidr. en México. Vol 12-3. 1958.

Jáuregui E. O., "Mesoclima de la Ciudad de México". Instituto de Geografía.  
U.N.A.M. México. 1971.

Jáuregui O. E., "Las Investigaciones Sobre Climas Urbanos y Contaminación  
del Aire en la República Federal de Alemania". Boletín del Instituto de Geografía.  
Vol 5. México. 1974.

McCartney E.J.  
"Optics of the Atmosphere".  
John Wiley and Sons.  
1976. New York  
408 pp.

Nickerson E. C., "Investigacionea Ambientales del Lago de Chapala (un curso  
corto)". Guadalajara Jal. Julio 18. 1988.  
Ojeda M.R. "Hoy no circula". Exámen. Febrero 1990. pp 45-46

Oke T.R.  
"Boundary Layer Climates".  
Methuen: London and New York.  
Second Edition. 1978. G.B. 435 pp.

PEMEX. Subdirección de Planeación y Coordinación. Gerencia de Coordinación y Control de Protección Ambiental, "Aspectos Generales de la Gasolina y su Efecto Sobre la Contaminación Ambiental". 1987.

Ratto C., "Introduction to the Earth Atmospheric & ABL. Structure & Concepts". College on Atmospheric Boundary Layer Physics. "Modeling of the Atmospheric Flow Fields". 21 May-1 June 1990. Trieste, Italy.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. "La Contaminación Atmosférica en el Valle de México". Invierno de 1987-1988.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. "Nueva Presentación del Índice Metropolitano de Calidad del Aire". Noviembre 10. 1989.

Sybil P. P.  
"Encyclopedia of Environmental Sciences".  
Mc Graw Hill. 2nd Edition,  
1980. New York.

Vesilind P. A., Peirce J. and Weiner R.  
"Environmental Engineering"  
Butterworths. 2nd Edition,  
1988. Boston. Mass.  
pp 363-414.

Warneck P.  
"Chemistry of the Natural Atmosphere"  
Academic Press.  
1988. San Diego, Calif., U.S.A.  
757 pp.