



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores Iztacala

**"CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES
DE LA ZONA METROPOLITANA
DEL VALLE DE MEXICO (ZMVM)."**

**SEMINARIO DE TITULACIÓN
TÓPICOS SELECTOS EN BIOLOGÍA**

**TESINA
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
BIÓLOGO**

**P R E S E N T A:
CUAUHTÉMOC SÁNCHEZ ORTÍZ**



**DIRECTOR:
DR. SERGIO CHÁZARO OLVERA**

**LOS REYES IZTACALA
- MARZO 2007 -**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

DEDICATORIA:

A la vida; gracias por la oportunidad.

A mi querida mamá: Sofía Ortiz, por tanto y tanto amor.

A mi admirado papá Cuauhtémoc Sánchez, por tantas y tantas enseñanzas.

A ti Johanna, por aparecer justo cuando pensé que no existías.

A ti Omar y a ti Xóchitl, porque debemos contribuir a la razón y trascendencia de nuestra existencia.

A todas las personas que han confiado, confían y confiarán en mi.

Pero sobretodo a todos aquellos que decidieron aceptar un pedacito de mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

A la FES Iztacala por todas las áreas de oportunidad.

Al Dr. Sergio Cházaro por su tiempo y dedicación a formar “biólogos de bien” y contribuirme tanto con este trabajo.

A todos los amigos que sabían que algún día lo iba a hacer; pero sobretodo a aquellos que pensaron que jamás iba a suceder.

A Fausto, por apoyarnos en la compilación y manufactura del presente compendio.

A todos los amigos que llevo en el corazón y en la mente...

INDICE

Introducción	2
Monóxido de Carbono	3
Oxido de Azufre	7
Oxido de Nitrógeno y Ozono	9
El Agujero en la Capa de Ozono	11
Plomo	13
Lluvia Ácida	14
Efecto Invernadero	19
Inversión Térmica	20
Partículas en Suspensión	21
Contaminación en la ZMVM	22
La ZMVM, única en su tipo	24
A manera de conclusión	26
Bibliografía	28

CARACTERISTICAS AMBIENTALES DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MEXICO (ZMVM).

Introducción

El problema de la contaminación del aire se ha ido agravando sin cesar desde que se inicio hace 300 años la Revolución Industrial. La información disponible nos indica que en muchos grandes centros urbanos se superan habitualmente las recomendaciones de la OMS (Organización Mundial de la Salud) respecto a los principales contaminantes de la atmósfera (1). Hoy en día son ampliamente reconocidos los problemas de contaminación ambiental, en particular el del aire, que dan lugar a la acumulación de riesgos para la salud y el bienestar de la población (2).

Zona Metropolitana del Valle de México

En la Zona Metropolitana del Valle de México se han realizados esfuerzos por mejorar la calidad del aire desde hace varios años. En octubre de 1990, se presentó el Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (conocido como PICCA). Este programa tuvo sus mayores logros en el mejoramiento de la calidad de los combustibles, destacando el suministro amplio de una gasolina adecuada para vehículos dotados de convertidor catalítico y la reducción significativa del contenido de azufre en el combustóleo y en el diesel (3).

Más recientemente, en marzo de 1996, se dio a conocer el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2001 (PROAIRE). El PROAIRE tiene como objetivo lograr gradualmente menores niveles de contaminación y tener un menor número de contingencias al año. Este programa incorpora 94 medidas concretas cuya aplicación se espera que elimine el 50% de las emisiones de hidrocarburos, 40% de óxidos de nitrógeno y 45% de partículas suspendidas de origen antropogénico, en el año 2000. Esto se traduce en desplazar hacia la izquierda la distribución de frecuencias del IMECA, logrando que la media de esta distribución se reduzca de 170 puntos en la actualidad a un nivel entre 140 y 150 puntos; y que se abata en un 75% la probabilidad de ocurrencia de contingencias por encima de los 250 puntos (4). Y con ello no rebasar las NOM de calidad del aire por mas de una vez por año (17).

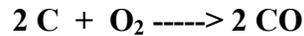
Son un sin numero de reportes existentes, que hacen mención de los orígenes de los diferentes contaminantes aéreos en la ZMVM, destacando principalmente los vehículos automotores y de combustión interna, con compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno (5) las macro y microindustrias, los incendios forestales, la erosión eólica del suelo, su alta densidad poblacional, sus características geográficas, etc. (7).

Los esfuerzos dirigidos a diversificar las fuentes de energía para reducir la dependencia de los hidrocarburos en México han sido muy limitados. En la actualidad los hidrocarburos aportan más del 90% de la producción total de energía y más del 60% de la generación bruta de electricidad (15).

Por ello analizaremos a los principales agentes contaminantes aéreos de la ZMVM.

MONÓXIDO DE CARBONO

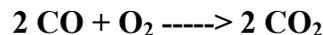
El monóxido de carbono (CO) es un gas no irritante, incoloro, inodoro, insípido y tóxico que se produce por la combustión de materia orgánica como la madera, el carbón o el petróleo, en una atmósfera con insuficiencia de oxígeno, donde ocurre la siguiente reacción:



Si la combustión del carbono se hace en una atmósfera con oxígeno se produce el dióxido de carbono:



y por oxidación del monóxido de carbono:



El CO tiene como fuente natural (en una baja proporción): gases volcánicos, gases emanados de los pantanos y de las minas de carbón, las tormentas eléctricas, la fotodisociación del CO₂ en la atmósfera superior, los incendios, así como el metabolismo de plantas y animales acuáticos y terrestres.

El CO químicamente es un agente reductor y su concentración promedio en la atmósfera es de 0.1 ppm. La mayor fuente de producción de CO es el motor de combustión interna (su concentración puede alcanzar hasta 115 ppm en embotellamientos de automóvil). Para abatir estas emisiones se ha optado por instalar los convertidores catalíticos en los automóviles, con lo que se reduce hasta un 90 % las emisiones de CO.

Una forma natural de consumo de CO es su reacción química con los radicales hidroxilo ambientales:



El CO debe su toxicidad en los seres humanos a su capacidad para combinarse con la hemoglobina produciendo la carboxihemoglobina (COHb), la cual no puede transportar el oxígeno porque la COHb y el O₂ compiten por el mismo grupo funcional de la hemoglobina. Sin embargo, el CO se combina unas 10 veces menos que el oxígeno con la hemoglobina y se disocia unas 2200 veces menos que el oxígeno de la hemoglobina, lo que significa que la afinidad química de la hemoglobina por el CO es 220 veces mayor que por el oxígeno (4).

La reducción de la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre es proporcional a la cantidad presente de COHb, pero la cantidad de oxígeno disponible para los tejidos se reduce más todavía por la influencia inhibitoria de la COHb sobre la disociación de cualquier oxihemoglobina (O₂Hb) todavía disponible. La COHb es disociable totalmente y una vez terminada la exposición aguda al CO se excreta por los pulmones. Sólo una pequeña cantidad se oxida a CO₂.

Un sujeto envenenado por CO que en reposo respire aire, el contenido de CO en la sangre tiene un tiempo de vida media de 320 minutos. Si se aplica oxígeno puro el tiempo de vida media se reduce a 80 min. ya que el equilibrio se desplaza hacia la formación de oxihemoglobina según la ecuación química:



El grado de toxicidad del CO depende de la concentración y del tiempo de exposición del individuo, y los daños pueden ser desde ligeros malestares hasta la muerte (6).

NIVEL (ppm)	EFEECTO FISIOLÓGICO
200 por 3 horas ó 600 por 1 hora	Dolor de cabeza
500 por 1 hora ó 1 000 por 30 minutos	Mareos, zumbido de oídos, náuseas, palpitaciones, embotamiento
1500 por una hora	Sumamente peligroso para la vida
4000	Colapso, inconsciencia, muerte

El envenenamiento por CO puede agravarse por la acción de factores como:

- El humo del cigarro.
- La realización de ejercicio físico en su presencia.
- La exposición en sitios localizados a más de 1500 m sobre el nivel del mar.
- La presencia de enfermedades cardiorrespiratorias.

Otras fuentes de emisión son las industrias que utilizan combustibles fósiles en sus fraguas, calderas e incineradores, en la detonación de explosivos y los escapes en instalaciones deterioradas de calefacción y estufas.

Los sitios donde se concentran gran cantidad de vehículos de combustión interna corresponden a los de mayor índice de contaminación producida por monóxido de carbono. La Zona Metropolitana de la Ciudad de México es un buen ejemplo de ello.

CONTAMINACIÓN POR CO₂

El bióxido de carbono CO₂ constituye el enlace indispensable que une al Sol con la Tierra por el intercambio bioquímico que permite que la energía luminosa se "incorpore" a los sistemas vivientes. A partir de la energía solar y con la intervención de moléculas como la clorofila y el agua, participa en la construcción de alimentos a través de la fotosíntesis en las plantas verdes (autótrofos).

La energía contenida en los alimentos puede ser aprovechada dentro de la célula de la misma planta o de cualquier otro organismo (organismo heterótrofo) mediante procesos de oxidación que permiten "quemar" esos compuestos a través del proceso de respiración y así, el CO₂ regresa a la atmósfera.

La fotosíntesis y la respiración son los procesos metabólicos que ha utilizado la Tierra por miles de años para hacer que circule el CO₂ (ciclo del CO₂). Se estima que -en condiciones naturales- el CO₂ tarda alrededor de 300 años para completar este ciclo.

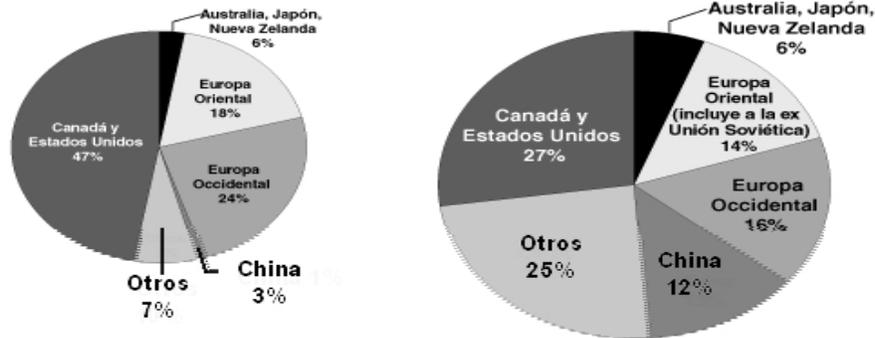
Buena parte del ciclo del carbono tiene lugar en el agua, donde enormes cantidades de organismos acuáticos fotosintéticos lo fijan en moléculas orgánicas, mientras que otros lo liberan mediante la respiración. El bióxido de carbono liberado pasa a formar compuestos como los carbonatos. Algunos científicos calculan que la mitad del CO₂ que circula se encuentra absorbido por el océano. Mucho de estos carbonatos se encuentra sobre el fondo marino "arrastrados" por los organismos que mueren y caen a las profundidades.

Una serie de reacciones carbonato \rightleftharpoons bicarbonato ocurren constantemente en el agua. Los sedimentos calcáreos contienen mucho de esos compuestos y así, el carbono permanece depositado en el fondo marino, pues estos compuestos se disuelven muy lentamente.

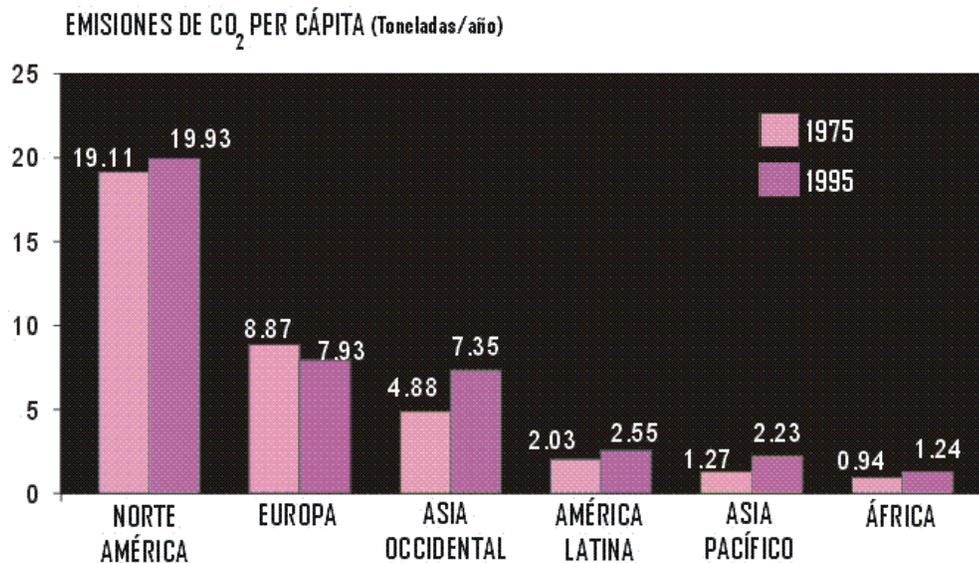
El ciclo natural del carbono, como sabemos, se ha alterado considerablemente como producto de la contaminación ambiental y la velocidad e intensidad con la que las plantas pueden utilizarlo en la fotosíntesis no es suficiente como para evitar que este gas se acumule en la atmósfera.

La quema de combustibles fósiles que mantuvieron por miles de años al carbono sedimentado en las profundidades y que ahora son utilizados como gas, petróleo y gasolina, ha puesto en circulación (en la atmósfera) enormes cantidades de carbono.

Emisiones de Dióxido por Región 1950 y 1990



Como se ve, la emisión de dióxido de carbono se ha incrementado sensiblemente en todo el mundo y sus efectos probablemente tienen que ver con el aumento global de temperatura (calentamiento global) que muchos investigadores afirman que está ocurriendo.



Los efectos de concentración de CO₂ en la atmósfera tienen además, un ritmo estacional. En altas latitudes (al norte) se incrementa significativamente en el invierno cuando baja la actividad fotosintética en los bosques de hoja caduca. Este efecto se acentúa por el incremento en el uso de combustibles para mantener los sistemas de aire acondicionado en países de esas latitudes.

El efecto invernadero está asociado directamente con la acumulación de bióxido de carbono en la atmósfera (alrededor del 50%) y su impacto aumenta en la medida que consumimos combustibles fósiles, permitimos la tala de bosques en toda la superficie terrestre y continuamos contaminando el mar con desechos y derrames de productos químicos. Otros

contaminantes que contribuyen al efecto invernadero son el metano y los clorofluorocarbonos (CFC's), utilizados como propelentes de aerosoles y en sistemas de refrigeración) (16).

OXIDO DE AZUFRE

El desarrollo industrial, principalmente la metalurgia y el incremento continuo en la fabricación de automóviles de combustión interna generan contaminantes peligrosos para la vida como: óxidos de azufre que mediante otras reacciones químicas se transforman en ácido sulfúrico, óxidos de nitrógeno que se transforman en ácido nítrico, además de aldehídos, ácido sulfhídrico, ácido fluorhídrico, arsénico y algunos derivados de metales como el plomo, el zinc, el mercurio, el cadmio y el cobre.

La palabra smog se deriva del inglés smog (humo) y fog (niebla) y se refiere a un tipo de contaminación visible, que es una mezcla de humos (y otros productos de la combustión del carbón o del petróleo que contienen azufre) con el vapor de agua del aire (2). En 1952, en Londres, Inglaterra, el smog con óxidos de azufre y partículas de hollín estuvo muy concentrado y debido a las condiciones estáticas de la atmósfera (inversión térmica) que en 5 días provocó la muerte de alrededor de 4000 personas.

El SO_2 es un gas que pertenece a la familia de los gases de óxidos de azufre (SO_x), que se producen principalmente de la combustión de compuestos que contienen azufre -carbón y aceite- y durante ciertos procesos industriales y en la producción de acero (16). Este gas incoloro y con sabor ácido picante, es percibido por el olfato en concentraciones hasta de 3 ppm (0.003%) a 5 ppm (0.005%). Cuando se encuentra en niveles de 1 a 10 ppm induce al aumento de la frecuencia respiratoria y el pulso.

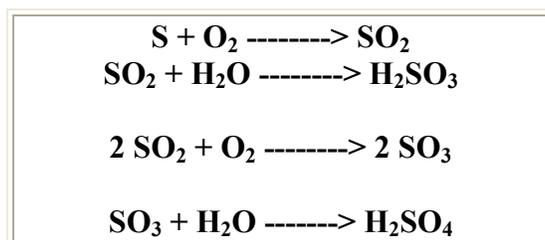
Cuando alcanza las 20 ppm produce una fuerte irritación en ojos, nariz, garganta, incrementa la crisis asmática y recrudece las alergias respiratorias. Si la concentración y el tiempo de exposición aumentan, se producen afecciones respiratorias severas. Una exposición a 400 - 500 ppm, aunque sea corta, puede resultar fatal para el organismo al producir y agravar ciertos padecimientos cardiovasculares.

A diferencia del CO y de los óxidos de nitrógeno, que pueden permanecer alrededor de 3 años en la atmósfera, los óxidos de azufre sólo tienen un período de residencia de 3 ó 4 días en la atmósfera, sin embargo, sus efectos contaminantes son muy importantes.

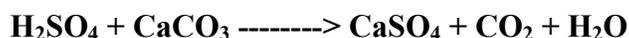
El dióxido de azufre, de la misma manera que los óxidos de nitrógeno, son causa directa de la lluvia ácida cuyos efectos son muy importantes tanto en las grandes ciudades acelerando la corrosión de edificios y monumentos, reduciendo significativamente la visibilidad como en el campo, produciendo la acidez de lagos, ríos y suelos.

El trióxido de azufre SO_3 , es un agente deshidratante muy poderoso, se obtiene por oxidación del anhídrido sulfuroso, SO_2 . Por calentamiento de ácido sulfúrico se desprende SO_3 . El anhídrido sulfúrico cristaliza en agujas prismáticas, tiene un punto normal de fusión de 16.8°C y un punto normal de ebullición de 44.88°C

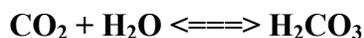
En condiciones adecuadas el azufre reacciona con el oxígeno del aire produciendo dióxido de azufre (SO₂, gas denso, incoloro con olor a azufre quemado, es muy tóxico, un agente muy reductor y soluble en agua), el cual por otra oxidación produce el anhídrido sulfúrico o trióxido de azufre (SO₃) y éste puede reaccionar con el vapor de agua del aire produciendo ácido sulfúrico (7). Estos procesos se representan mediante las siguientes ecuaciones químicas:



El ácido sulfúrico es muy tóxico para todos los seres vivos. También daña a los edificios y monumentos, por ejemplo, al reaccionar con el carbonato de calcio (mármol) lo destruye produciendo bióxido de carbono, agua y sulfato de calcio, proceso que se representa mediante la ecuación química:



Al reaccionar el bióxido de carbono con el agua produce otro ácido que es débil, el ácido carbónico cuya reacción se representa mediante la ecuación química:



En Estados Unidos y algunos países de Europa han encontrado que la tasa de mortalidad por bronquitis crónica está asociada con la cantidad y el tiempo de exposición con contaminantes como el bióxido de azufre.

Las emisiones de SO₂ producen lesiones en el follaje y fruto de árboles y plantas, en selvas, bosques y áreas de cultivo porque altera la fotosíntesis. Su efecto se conoce como lluvia ácida.

Las erupciones volcánicas son una fuente importante de contaminación, ya que sus emisiones arrojan a la atmósfera toneladas de cenizas y vapores que afectan amplias zonas a la redonda. Son muy conocidas en la historia del hombre, las consecuencias que una gran erupción volcánica puede tener. Además de ser una fuente importante de contaminación, puede ir desde la emisión de grandes cantidades de partículas y gases hasta la generación de importantes movimientos telúricos y la emisión de grandes cantidades de roca líquida o lava. Las consecuencias de una erupción son impredecibles y sus efectos se mantienen presentes por mucho tiempo (8).

Las nubes de partículas pueden permanecer en la atmósfera y ser transportadas por los vientos, a lugares lejanos de la erupción. Su densidad puede impedir la penetración de los rayos solares, influyendo de esta forma tanto en la luminosidad a nivel del suelo, como en

la disminución drástica de la temperatura de vastas regiones. Efectos que influyen directamente en el clima y en el desarrollo de la flora y la fauna.

En tiempos recientes, este fenómeno ha sido especialmente importante en México. A partir del 21 de diciembre de 1994, el volcán Popocatepetl, que por muchos años había permanecido inactivo, ha venido presentando una serie de erupciones que envían de manera intermitente desde ese día, fragmentos cuyo tamaño ha llegado hasta los 40 cm. y la emisión de cenizas que cubren un amplio radio alrededor del volcán. Las cenizas han sido detectadas en los estados de Puebla, Morelos, México y en la zona metropolitana de la Ciudad de México.

OXIDO DE NITROGENO Y OZONO

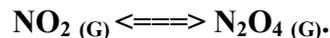
El NO₂ puede irritar los pulmones y predispone ya que abate la resistencia del organismo para contraer diferentes infecciones respiratorias, como la gripa y la influenza.

Los óxidos de nitrógeno (NO_x) son importantes contribuyentes potenciales de fenómenos nocivos como la lluvia ácida y la eutroficación en las zonas costeras. La eutroficación ocurre cuando un cuerpo de agua sufre un notable incremento de nutrientes como los nitratos reduciendo la cantidad de oxígeno disuelto, transformando el ambiente en un medio no viable para los seres vivientes (16).

CARACTERÍSTICAS DEL GAS:

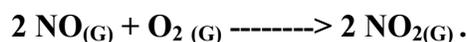
1. INCOLORO (en grandes concentraciones es café pardo)
2. PRODUCE: irritación en los ojos, nariz y garganta. La exposición prolongada o crónica produce lesiones pulmonares
3. PUEDE PERMANECER RESIDENTE EN EL MEDIO HASTA 3 AÑOS

El nitrógeno no reacciona fácilmente con el oxígeno (por eso el aire se mantiene como una mezcla de nitrógeno y oxígeno, principalmente) pero en condiciones favorables reaccionan produciendo los óxidos de nitrógeno que se representan como NO_x y son el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂, gas café rojizo) que se mantiene como mezcla en equilibrio con su dímero, el tetróxido de nitrógeno (N₂O₄, gas incoloro, se licua a 21.3°C.) a una temperatura de 25°C y una presión de una atmósfera. Se representa con la ecuación química:

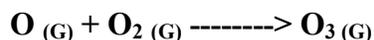


Por regla general todos los óxidos de nitrógeno se transforman en bióxido de nitrógeno en el aire, por eso la observación se centra en él.

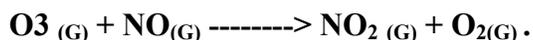
El óxido nítrico, NO gas incoloro, reacciona con el oxígeno produciendo dióxido de nitrógeno y se representa mediante la ecuación química:



El dióxido de nitrógeno se descompone por la acción de la luz solar en óxido nítrico y oxígeno atómico (es muy reactivo) y reacciona con una molécula de oxígeno produciendo ozono (5), procesos que se representan como:



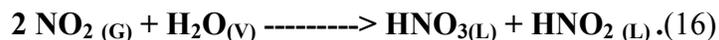
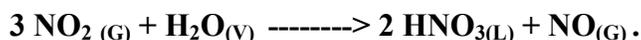
El ozono principal problema de contaminación ambiental en la ZMVM (5), al igual que los demás peróxidos es muy reactivo y reacciona con el óxido nítrico produciendo dióxido de nitrógeno y oxígeno.



Las reacciones químicas directas del nitrógeno generalmente requieren altas temperaturas, debido a su poca reactividad química. Su reacción con el oxígeno puede efectuarse usando una descarga eléctrica de alto voltaje:



El bióxido de nitrógeno se combina con el agua produciendo ácido nítrico y óxido nítrico o ácido nítrico y ácido nitroso, según la cantidad de bióxido de nitrógeno que reaccione con el agua:



El ozono se crea de las reacciones de la luz solar con los óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre que contaminan la atmósfera. Se podría decir que hay cientos de fuentes distintas que producen estos dos tipos de contaminantes, algunas son los vapores de gasolinas, los solventes químicos y la combustión de diversos compuestos.

Se forman casi en cualquier sitio, desde las grandes industrias, las estaciones de gasolina, las pequeñas fábricas o las tintorerías. Estos lugares se encuentran generalmente en zonas donde la temperatura ambiente, la radiación solar y el tránsito vehicular facilitan las reacciones para la formación de ozono.

El ozono es una molécula formada por 3 átomos de oxígeno y es una forma alotrópica del oxígeno, es un gas de color azul pálido y al licuarse forma un líquido azul oscuro. Químicamente es muy activo, es un oxidante muy fuerte por lo que se usa como germicida (mata organismos infecciosos) diluido se usa para esterilizar el agua, purificar el aire y llevar a cabo reacciones de oxidación en química orgánica. Se descompone rápidamente en oxígeno a temperaturas mayores a 100° C y a temperatura ambiente en presencia de catalizadores como el dióxido de manganeso, MnO₂.

Tanto el oxígeno atómico (O) como el ozono (O₃) son muy reactivos y al reaccionar con los hidrocarburos olefinicos producen aldehídos, cetonas y alcoholes. El ozono absorbe las radiaciones ultravioleta de 300 nanómetros de longitud de onda la cual es mortífera para los seres vivos. Los rayos ultravioleta tipo B de 280 a 320 nanómetros producen mutaciones genéticas en el ADN (ácido desoxirribonucleico) lo que propicia el cáncer de piel, melanoma y cataratas. Además debilita al sistema inmunológico de los organismos lo que los hace propensos a las enfermedades como la gripa, la influenza y el asma, y disminuye el proceso de fotosíntesis de las plantas y por lo tanto la producción de alimentos. Se calcula que hay 12 ppm de ozono en la atmósfera lo que indica que debemos evitar destruirlo con los productos químicos que lo destruyen.

El ozono ayuda a conservar la vida de 2 maneras:

- 1) al absorber las radiaciones ultravioleta
- 2) al contribuir a mantener el equilibrio térmico de la atmósfera.

Debido a su gran reactividad química el ozono se usa en ocasiones para combatir el mal olor de gases de desecho como los producidos en el tratamiento de aguas negras, porque los oxida formando productos menos mal olientes. Las concentraciones de ozono para estos tratamientos varía entre 10 y 20 ppm, concentraciones que serían fatales para el hombre. Para los trabajadores industriales sanos la concentración máxima permisible de ozono es de 0.1 ppm en una jornada de 8h.

La inhalación del ozono presente en el smog fotoquímico ocasiona tos, dificultad para respirar, irritación en la nariz y la garganta, aumenta las molestias y agrava las enfermedades crónicas como el asma, bronquitis, enfisema (es incurable y reduce la capacidad de los pulmones para transferir oxígeno a la sangre) y trastornos cardiacos (14).

EL AGUJERO DE OZONO

El ozono atmosférico lo producen principalmente los motores eléctricos, los relámpagos y la radiación ultravioleta solar con el oxígeno del aire. La capa de ozono es adelgazada o destruida por sustancias oxidantes como algunos hidrocarburos clorados, compuestos de nitrógeno y otros. Por eso algunos países han prohibido el uso de aerosoles y sistemas de refrigeración industrial y doméstica que utilizan compuestos químicos que descomponen al ozono. En América Latina, su producción y uso se incrementó significativamente en 1984, pero ahora muestra un declive.

El conjunto de productos químicos denominados clorofluorocarbonos (CFC's), contienen cloro, flúor y carbono, se usan en refrigeración, aire acondicionado, aerosoles y materiales aislantes y se creía que eran inertes químicamente. Son inertes en la troposfera (hasta 10 km) y se vuelven activos por encima de los 20 km (estratosfera) que es donde la concentración de ozono es mayor.

En la Ciudad de México y otras zonas ampliamente pobladas como Guadalajara, Monterrey con frecuencia se rebasan los límites de ozono tolerables para la salud. La Comisión Metropolitana para la Prevención de la Contaminación estima que esta contaminación es producida en estas ciudades, principalmente por:

FUENTE	CONTRIBUCIÓN %
Vehículos	34.9
Autotransportes	41.7
Industria	20.0
Producción de energía	4.0

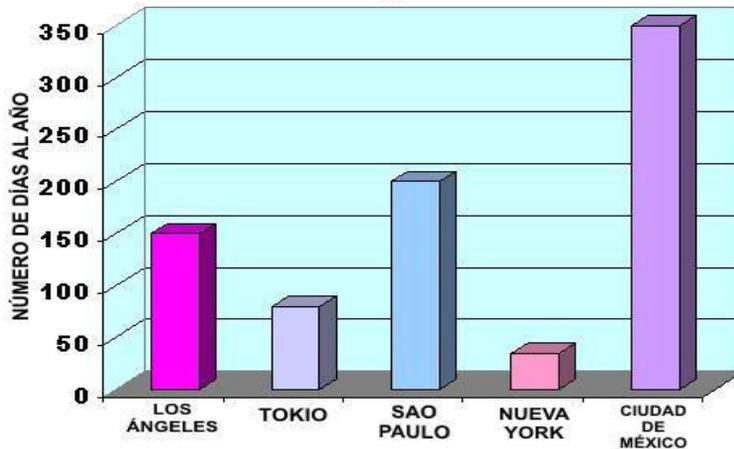
Los efectos sobre la salud, de la exposición prolongada a una atmósfera con ozono, indican que los niños, los ancianos y aquellas personas que tienen una salud frágil, resienten rápidamente problemas respiratorios, ronquera, náuseas y congestión pulmonar. Algunos estudios indican que el ozono tiene una influencia importante sobre los glóbulos rojos, limitando el transporte de oxígeno a las células del organismo. No obstante, quedan pendientes aún detalles importantes acerca de la forma en que el ozono afecta la salud.



Recientemente se ha observado un incremento de la frecuencia de hospitalización y de ausencia en la escuela y el trabajo, por el aumento de enfermedades respiratorias, cuando los índices de contaminación son más elevados.

El ozono afecta a los demás seres vivos. Animales y vegetales expuestos a altas concentraciones de ozono en las capas bajas de la atmósfera sufren importante deterioro en la salud. Se ha observado la vegetación que crece en las vías donde circulan importantes cantidades de autos -fuente importante de emisión de O₃- y se han advertido importantes lesiones en los tejidos foliares. Una vez que las hojas de las plantas se deterioran, secan y caen, los vegetales mueren por la deficiente fotosíntesis que realizan. Son muy pocas las especies vegetales que "resisten" el embate de las altas concentraciones de ozono.

Según reportes del *Instituto Mexicano del Petróleo*, el ozono rebasó (período 1969-1971) los límites tolerables más de 350 días.



Como se puede observar, durante cerca de dos años la Ciudad de México rebasó con mucho los límites de 350 IMECA establecidos para esa época (100 IMECAS equivalen a 11 ppm partes por millón), situación que destaca cuando comparamos estos datos con los de otras grandes ciudades del mundo, para ese mismo período.

Actualmente el nivel de 350 puntos en el IMECA ha sido reducido a 250 como límite para poner en marcha el programa de contingencia ambiental que indica que se debe reducir la actividad industrial, la circulación de vehículos (dos días NO CIRCULA entre semana y un día en fin de semana), las tareas de bacheo y reparación en las calles, entre otras medidas (2). Al inicio del año 2000, el programa de contingencia ambiental en la zona metropolitana se maneja por área (NO, NE, SO, SE y Centro) y las decisiones son tomadas de manera diferencial a lo largo del día de acuerdo a los índices registrados en ciertas horas.

Si se toma en cuenta que casi tres quintas partes de todos los vehículos del país circulan en la zona metropolitana de la Ciudad de México, que en ella viven cerca de una quinta parte de toda la población y que, genera cerca del 40% del producto interno bruto, se puede entender que para el inicio de la década de los noventa, se liberaban 11.7 mil toneladas de contaminantes al día.

Con el programa HOY NO CIRCULA que se ha aplicado a la zona metropolitana se calcula -según datos de la Comisión Metropolitana para la Prevención de la Contaminación- que casi 350 000 autos han dejado de circular al día, sin embargo, esto supone sólo una disminución del 12.8% de la contaminación total que se genera al día.

PLOMO

En la República Mexicana, las principales fuentes de contaminación varían de acuerdo a la región de que se trate. En las grandes ciudades proviene principalmente de la combustión de gasolina. En otras regiones, la producción de cerámicas vidriadas es el principal origen.

Según el Instituto Mexicano del Petróleo, en México se ha logrado disminuir este contaminante en el aire mediante el tratamiento de la gasolina, a la que se ha eliminado casi por completo y sustituido por metil-etil-éter. En la siguiente gráfica puede verse el

comportamiento de ese contaminante de 1988 a 1993, donde el I.M.P. afirma que la concentración media anual bajó de 3.50 mg/m³ en 1988 a 0.60 mg/m³ para 1993. Incluso existe información de que no se excede la norma desde 1995 (3).

CONCENTRACIÓN DE Pb (MICROGRAMOS POR m³)	AÑO
3.5	1988
2.6	1989
2.3	1990
1.5	1991
0.9	1992
0.6	1993

De acuerdo a la actividad industrial, muchas regiones del país están expuestas a concentraciones dañinas de este metal. Aunque se considera que el límite tolerable para un individuo no debe exceder de 1.5 mg/m³, en la zona industrial de Xalostoc y Tlalneplanta, con frecuencia flotan en el aire concentraciones mayores y se han reportado concentraciones de este metal hasta de 17.1 (µg/dl) en la sangre de niños (2).

En la Ciudad de México se han estudiado casi 1500 niños y se ha encontrado (1996) la siguiente concentración de Pb en sangre.

ZONA	CONCENTRACIÓN (promedio)	Número de niños
Centro	15.6	719
Sureste	13.5	184
Noroeste	16.5	595

Dado que el Pb interactúa con otros metales como el hierro, algunos procesos biológicos resienten drásticamente la presencia de este contaminante; los procesos metabólicos y respiratorios se ven seriamente afectados por el Pb, en las mitocondrias (organelos celulares que participan directamente en la respiración) se producen micelas ferruginosas que alteran su funcionamiento y las lesionan. Al interactuar con el fósforo muchos de los procesos metabólicos donde éste participa se ven seriamente afectados (acción del ATP, por ejemplo).

La exposición excesiva desórdenes en la reproducción e impedimentos neurológicos que van desde los trastornos de conducta, los ataques y el retraso mental. En dosis bajas altera las funciones enzimáticas del organismo y altera los mecanismos de manejo energéticos. Los niños son especialmente sensibles a este tipo de contaminante que les afecta el sistema nervioso central y retrasa su desarrollo (18).

El Pb se acumula en la sangre, huesos y tejidos blandos. Toda vez que se elimina con mucha dificultad, ataca a los riñones produciéndoles lesiones irreversibles. En general también afecta el hígado y el sistema nervioso.

Al estudiar la relación entre concentración de Pb en la sangre de una muestra muy amplia de niños de la Ciudad de México (Datos obtenidos de CDC, 1991) y la presencia de algunas deficiencias se ha encontrado:

Plomo en sangre (μ/dl)	Efectos observados
20	Problemas de transmisión nerviosa periférica
15	Disminución del coeficiente intelectual
10	Disminución de la capacidad auditiva

Recientemente se ha asociado la presencia de plomo en la sangre con la hipertensión crónica y los trastornos cardiovasculares en hombres de mediana edad. En las mujeres se relaciona con la osteoporosis posmenopáusicas.

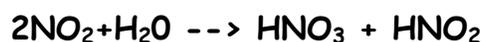
Las vías de contaminación pueden ser: inhalación y la ingestión a través de los alimentos y el agua contaminada (presente en el suelo, el polvo y las pinturas) (19).

LLUVIA ÁCIDA

La lluvia ácida presenta un pH menor (más ácido) que la lluvia normal o limpia. Constituye un serio problema ambiental ocasionado principalmente por la contaminación de hidrocarburos fósiles. Estos contaminantes son liberados al quemar carbón y aceite cuando se usan como combustible para producir calor, calefacción o movimiento (gasolina y diesel).

El humo del cigarro es una fuente secundaria de esta contaminación, formada principalmente por dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Las erupciones volcánicas y los géiseres contribuyen con una cantidad de estos contaminantes a la atmósfera.

La lluvia ácida se forma generalmente en las nubes altas donde el SO₂ y los NO_x reaccionan con el agua y el oxígeno, formando una solución diluida de ácido sulfúrico y ácido nítrico. La radiación solar aumenta la velocidad de esta reacción.



La lluvia, la nieve, la niebla y otras formas de precipitación arrastran estos contaminantes hacia las partes bajas de la atmósfera, depositándolos sobre las hojas de las plantas, los edificios, los monumentos y el suelo.

A través del ciclo hidrológico, el agua se mueve en plantas y animales, ríos, lagos y océanos, evaporándose a la atmósfera y formando nubes que viajan empujadas por el viento, de tal suerte que si transportan contaminantes, éstos pueden alcanzar casi cualquier lugar sobre la superficie terrestre.

Una lluvia “limpia” es imposible de despojar de partículas de polvo y polen y de un pH cercano al 5.6 (ligeramente ácido). Al adicionarse SO₂ y NO_x el pH se torna dramáticamente ácido (por los ácidos sulfúrico y nítrico formados en la atmósfera).

Los contaminantes pueden depositarse también en forma seca, como gas o en forma de pequeñas partículas. De hecho, casi la mitad de la acidez de la atmósfera se debe a este tipo de deposición.

El viento se encarga de empujar estos contaminantes sobre los edificios, el suelo, el campo y aún, hacia nuestro interior con el aire que respiramos. Cierta parte de estos contaminantes la podemos ingerir con los alimentos a los que ha llegado polvo y gas.

¿Cómo afecta la lluvia ácida?

La lluvia ácida huele, se ve y se siente igual que la lluvia normal, y se podría decir que podemos bañarnos con ella sin sentir un efecto inmediato especial. El daño que produce a las personas no es directo, es más inmediato el efecto de los contaminantes que producen esta lluvia y que llegan al organismo cuando éste los respira, afectando su salud.

Los productos del hombre, monumentos y edificios, son más susceptibles a la acción de la lluvia ácida. Muchas ruinas han desaparecido o están en vías de hacerlo, a causa de este factor.

En los bosques la situación es un tanto distinta. Aunque los científicos no se han puesto de acuerdo con respecto a los efectos inmediatos concretos, todos estiman que la lluvia ácida no mata directamente a plantas y árboles, sino que actúa a través de ciertos mecanismos que los debilitan, haciéndolos más vulnerables a la acción del viento, el frío, la sequía, las enfermedades y los parásitos. La lluvia ácida afecta directamente las hojas de los vegetales, despojándolas de su cubierta cerosa y provocando pequeñas lesiones que alteran la acción fotosintética. Con ello, las plantas pierden hojas y así, la posibilidad de alimentarse adecuadamente. En ocasiones la lluvia ácida hace que penetren al vegetal ciertos elementos como el aluminio (éste bloquea la absorción de nutrientes en las raíces), que afectan directamente su desarrollo.

Los efectos de la lluvia ácida en el suelo pueden verse incrementados en bosques de zonas de alta montaña, donde la niebla aporta cantidades importantes de los contaminantes en cuestión.

Las áreas de cultivo no son tan vulnerables a los efectos de la lluvia ácida, toda vez que generalmente son abonadas con fertilizantes que restituyen nutrientes y amortiguan la acidez.

La naturaleza posee ciertos mecanismos para regular la acidez producida por causas naturales. El suelo, sobre todo el calizo, ejerce una acción amortiguadora (buffer) que impide que el pH se torne demasiado ácido. No obstante, la mayor cantidad de contaminantes llegan al medio como producto de la actividad humana, que los produce en cantidades colosales, que no pueden ser amortiguadas.

En sitios donde los suelos no son tan buenos amortiguadores, o donde el aporte de contaminantes es muy superior a lo que puede reciclarse, se acentúan los efectos nocivos de la lluvia ácida.

No contamos con un registro fiel que nos permita conocer el pH de diferentes terrenos a todo lo largo del territorio mexicano.

Los efectos de la lluvia ácida en medios acuáticos (lagos, ríos, estanques) son más evidentes, toda vez que los organismos que en ellos habitan son más vulnerables a las variaciones de pH.

ORGANISMO	LÍMITE QUE SOPORTA (pH)
trucha	5.0
perca	4.5
rana	4.0
salamandra	5.0
lombriz	6.0
mosca	5.5
acocil	6.0

Los organismos adultos pueden ser mucho más resistentes a la acidez, no obstante, cuando los huevos o los jóvenes son afectados por ella, o cuando el alimento natural que los sostiene es abatido por la acidez, los adultos se debilitan o la población merma y puede llegar a desaparecer.

Algunas de las especies químicas que hay en la atmósfera como el SO₂, NO, NO₂, CO, CO₂, NH₃, pueden interactuar con el vapor de agua del aire produciendo iones o ácidos que son los que forman la lluvia ácida.

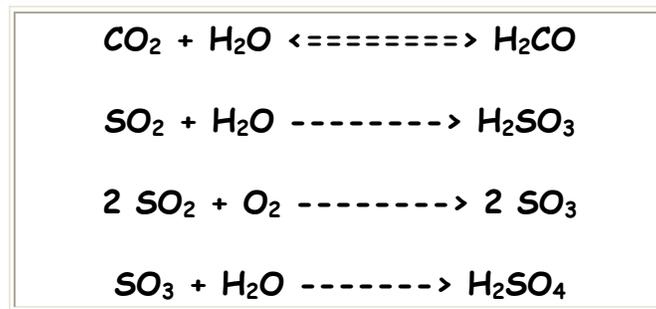
El agua pura tiene un pH = 7 a 25°C y una presión de una atmósfera, se ioniza formando iones hidrógeno o protones y iones oxidrilo o hidroxilo, con una concentración cada uno de 10⁻⁷ moles/L.

El agua de lluvia es ligeramente ácida porque el agua y el dióxido de carbono del aire forman ácido carbónico y tiene un pH entre 5.7 y 7. En lugares contaminados por ácido sulfúrico y ácido nítrico el pH de esa lluvia varía entre 5 y 3.

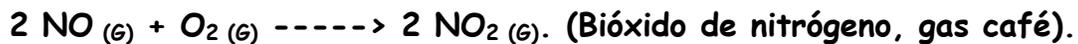
El dióxido de azufre y los óxidos nítrico y nitroso son originados principalmente por las termoeléctricas, los motores de combustión interna de coches y aviones y algunas otras industrias.

Casi todas las construcciones que hace el hombre como edificios, monumentos y maquinaria son víctimas de la corrosión por exposición prolongada a ácidos diluidos, sin embargo, sus efectos a largo plazo sobre la naturaleza son más importantes. El incremento de ácidos en el suelo acelera la velocidad de lixiviación de los nutrientes vitales como el calcio, para las plantas y la vida acuática (afecta el desarrollo de los huevos de los peces).

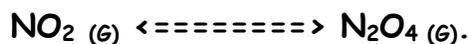
La lluvia ácida se forma gracias a reacciones como:



Las reacciones químicas directas del nitrógeno generalmente requieren altas temperaturas, debido a su poca reactividad química. Su reacción con el oxígeno puede efectuarse usando una descarga eléctrica de alto voltaje:



El bióxido de nitrógeno existe en equilibrio con su dímero, el tetróxido de dinitrógeno, N_2O_4 , que es un gas incoloro y se licua a 21.3°C.



El dióxido de nitrógeno se descompone por la acción de la luz solar en óxido nítrico y oxígeno atómico (es muy reactivo).



El bióxido de nitrógeno se combina con el agua produciendo ácido nítrico y óxido nítrico o ácido nítrico y ácido nitroso, según la cantidad de bióxido de nitrógeno que reaccione con el agua:



La Tierra debido a su fuerza de gravedad retiene en su superficie al aire y al agua del mar, y para poner en movimiento al aire y al mar en relación con la superficie del planeta se necesita la energía cuya fuente primaria es el Sol, que emite en todas direcciones un flujo de luz visible o próxima a la radiación visible, en las zonas del ultravioleta y del infrarrojo.

De acuerdo con los planteamientos de Sadi Carnot acerca del funcionamiento de la máquina de vapor, se sabe que la transformación de la energía térmica en energía mecánica no puede ser total. Un motor térmico requiere de una fuente caliente que suministre la energía térmica y una fuente fría que la reciba. Al considerar a la Tierra como un motor térmico, la fuente que suministra la energía térmica es la superficie del suelo calentada por la radiación solar y la fuente fría está localizada en las capas altas de la atmósfera, enfriada continuamente por la pérdida de energía en forma de radiación infrarroja emitida por el suelo caliente hacia el espacio sideral.

La Tierra solamente recibe una pequeña cantidad de la energía emitida por el Sol. La luz solar no se utiliza directamente, sino en forma de calor, por lo tanto, es necesario que la atmósfera transforme la energía térmica de la radiación solar en energía mecánica del viento. La fuente de calor para la atmósfera es la superficie del suelo calentada por la luz solar que luego es emitida como radiación infrarroja hacia el espacio.

El efecto invernadero es uno de los principales factores que provocan el calentamiento global de la Tierra, debido a la acumulación de los llamados gases invernadero CO_2 , H_2O , O_3 , CH_4 y CFC's en la atmósfera.

El matemático francés Jean B. J. Fourier planteó que la Tierra es un planeta azul debido a su atmósfera y que sería un planeta negro si careciera de ella y que se congelaría el agua si no tuviera la mezcla de gases que forman su atmósfera. En 1827 comparó la influencia de la atmósfera terrestre con un invernadero y dijo que los gases que forman la atmósfera de la Tierra servían como las paredes de cristal de un invernadero para mantener el calor.

El físico irlandés John Tyndall, en 1859, descubrió que ni el oxígeno ni el nitrógeno producen efecto invernadero, lo cual indica que el 99 % de los componentes de la atmósfera no producen efecto invernadero y que el agua, el bióxido de carbono y el ozono sí lo producen. Tyndall se dio cuenta que el bióxido de carbono absorbe una gran cantidad de energía y que su concentración varía de manera natural debido a diferentes fenómenos, entre los que se encuentra la fijación orgánica que llevan a cabo las plantas. También que la disminución de la concentración del bióxido de carbono en la atmósfera provocaría el

enfriamiento del planeta y que ésta podría ser la explicación de las glaciaciones en la Tierra.

Las moléculas de oxígeno, nitrógeno, agua, anhídrido carbónico y del ozono son casi transparentes a la luz solar pero las moléculas de CO_2 , H_2O , O_3 , CH_4 y CFC's son parcialmente opacas a las radiaciones infrarrojas, es decir, que absorben a las radiaciones infrarrojas emitidas por el suelo que ha sido calentado por la luz solar (2).

Cuando la radiación infrarroja choca con las moléculas de CO_2 , H_2O , O_3 , CH_4 y CFC's es absorbida por ellas. Estas moléculas que vibran, se mueven y emiten energía en forma de rayos invisibles e infrarrojos, provocan el fenómeno conocido como efecto invernadero, que mantiene caliente la atmósfera terrestre. Las radiaciones rebotan entre la mezcla de moléculas que componen a la atmósfera hasta que finalmente escapan al espacio sideral.

EFEECTO INVERNADERO

El término efecto invernadero aplicado a la Tierra se refiere al posible calentamiento global debido a la acumulación de los gases de invernadero provocada por la actividad humana, principalmente desde la revolución industrial por la quema de combustibles fósiles y la producción de nuevos productos químicos.

El químico sueco Svante A. Arrhenius, en 1896, planteó que la concentración de anhídrido carbónico se está incrementando continuamente debido a la quema de carbón, petróleo y leña, lo cual hace que la temperatura promedio de la Tierra sea cada vez mayor. Señaló que en caso de duplicarse la concentración del anhídrido carbónico de la atmósfera, la temperatura promedio de la Tierra aumentaría entre 5 y 6°C.

Aunque se conocía el efecto invernadero, durante la primera mitad del siglo XX los investigadores de la Tierra no lo consideraron como un problema de la estabilidad del planeta, ya que antes consideraban que los océanos podían absorber al anhídrido carbónico formando carbonato de calcio (CaCO_3) que caería al fondo del mar sin causar ningún daño.

La radiación infrarroja es absorbida en mayor cantidad por el vapor de agua, le sigue el anhídrido carbónico y luego el ozono, pero de estos 3 compuestos químicos es el anhídrido carbónico el que produce mayor efecto invernadero porque el hombre está incrementando su concentración como consecuencia de las actividades que realiza.

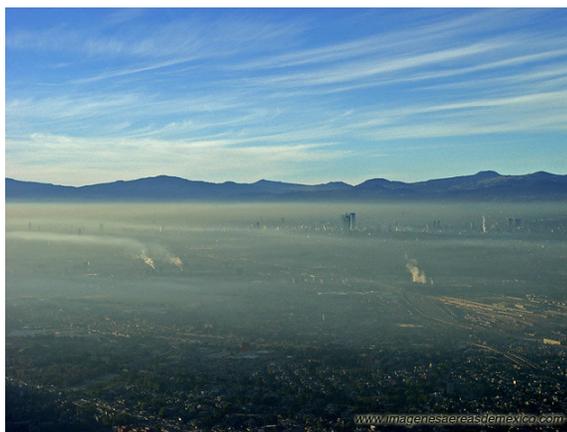
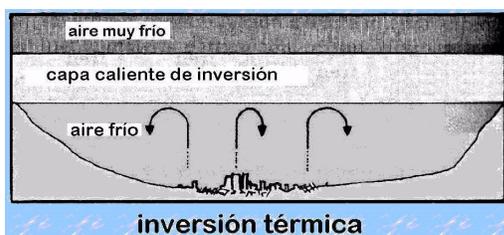
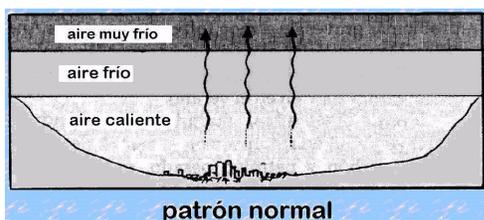
Se considera que sin el efecto invernadero producido por el bióxido de carbono natural la temperatura de la Tierra sería de alrededor de 20 °C bajo cero (-20 °C).

Los científicos están de acuerdo en que el anhídrido carbónico interviene en el efecto invernadero y que su concentración está aumentando, pero no están de acuerdo en dos aspectos cruciales del efecto invernadero: 1) si ya ha comenzado el calentamiento de la Tierra y 2) cuánto se incrementará el calentamiento global.

INVERSIÓN TÉRMICA

El fenómeno de inversión térmica se presenta cuando en las noches despejadas el suelo ha perdido calor por radiación, las capas de aire cercanas a él se enfrían más rápido que las capas superiores de aire lo cual provoca que se genere un gradiente positivo de temperatura con la altitud (lo que es un fenómeno contrario al que se presenta normalmente, la temperatura de la troposfera disminuye con la altitud). Esto provoca que la capa de aire caliente quede atrapada entre las 2 capas de aire frío sin poder circular, ya que la presencia de la capa de aire frío cerca del suelo le da gran estabilidad a la atmósfera porque prácticamente no hay convección térmica, ni fenómenos de transporte y difusión de gases y esto hace que disminuya la velocidad de mezclado vertical entre la región que hay entre las 2 capas frías de aire.

La inversión térmica se presenta normalmente en las mañanas frías sobre los valles de escasa circulación de aire en todos los ecosistemas terrestres. También se presenta este fenómeno en las cuencas cercanas a las laderas de las montañas en noches frías debido a que el aire frío de las laderas desplaza al aire caliente de la cuenca provocando el gradiente positivo de temperatura.



Cuando se emiten contaminantes al aire en condiciones de inversión térmica, se acumulan (aumenta su concentración) debido a que los fenómenos de transporte y difusión de los contaminantes ocurren demasiado lentos, provocando graves episodios de contaminación atmosférica de consecuencias graves para la salud de los seres vivos.

La inversión térmica es un fenómeno peligroso para la vida cuando hay contaminación porque al comprimir la capa de aire frío a los contaminantes contra el suelo la concentración de los gases tóxicos puede llegar hasta equivaler a 14 veces más.

Condiciones de inversión térmica de larga duración con contaminantes de bióxido de azufre y partículas de hollín causaron la muerte de miles de personas en Londres, Inglaterra en 1952 y en el Valle de Ruhr, Alemania en 1962.

Generalmente, la inversión térmica se termina (rompe) cuando se calienta el suelo y vuelve a emitir calor lo cual restablece la circulación normal en la troposfera.

PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN

Las partículas que hay en el aire son generadas por diferentes fuentes que pueden ser móviles o estacionarias como motores, industrias, aserraderos, incendios, erosión del suelo, etc. y pueden ser de naturaleza química, física o biológica.

Las partículas viables o capaces de vivir abarcan desde los granos de polen, partes de insectos como pelos, alas, hasta microorganismos como las bacterias, los hongos, los mohos o las esporas y pequeños insectos. Causan muchos efectos perjudiciales al hombre como algunas formas de asma bronquiales, la fiebre del heno, diversas infecciones por hongos y enfermedades bacterianas (17).

Partículas no viables abarcan una gran cantidad de materiales, algunos de fuentes naturales (arena, polvos de la erosión del suelo, polvos volcánicos, etc.) y otros de materia orgánica o inorgánica resultantes de las actividades del hombre (productos de la combustión del carbón, petróleo, madera y basura, insecticidas, asbesto, etc.). Los efectos de estos compuestos pueden consultarse en *Algunos de los contaminantes atmosféricos más frecuentes y/o más dañinos* o en *Contaminantes peligrosos* producidos en la incineración de basura.

Una fuente de contaminación atmosférica son actividades como la perforación, trituración, molienda, secado, mezclado y fertilización con fosfatos. Otra fuente de contaminación del aire es la actividad metalúrgica del hierro, acero, cobre, plomo, zinc y aluminio. Minerales no metálicos como el cemento, vidrio, cerámica y asbesto. Partículas de plomo resultante del uso del tetraetilo de plomo o tetrametilplomo ($C_4H_{12}Pb$) como antidetonante de la gasolina.

A la materia que consta de partículas dispersas que tienen diámetros promedio de 10 a 1000 angstroms ($1 \text{ angstrom} = 1 \times 10^{-8} \text{ cm}$) se dice que se encuentran en estado coloidal. Los coloides pueden formar espuma, aerosol, emulsión, humo, sol y gel. Las partículas las clasifican de acuerdo a su diámetro promedio, por ejemplo, las partículas de aerosol son de 10 micrones (micrómetros).

Las partículas ácidas son responsables en gran medida del deterioro de edificios y monumentos ya que actúan sobre ellos mediante la lluvia ácida. Sus efectos nocivos pueden identificarse en las lesiones que producen en el tejido del aparato respiratorio, la predisposición al abatir los sistemas de defensa del organismo, ante la gripa, el asma y la influenza.

Algunas partículas son precursoras de diferentes tipos de cáncer, y de algunos tipos de incapacidad en las personas que se exponen a ellas de manera crónica.

Los problemas de disminución de visibilidad están directamente asociados a la presencia de este tipo de contaminante. Estas partículas en suspensión en el aire absorben y dispersan la luz impidiendo la visibilidad. La visibilidad es un fenómeno fácilmente medible, pero de la misma forma en que las partículas son difíciles de relacionar con una determinada fuente, el problema de la visibilidad es difícil de comprender y por ende, de eliminar.

EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN EN LA ZMVM (ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO).

La contaminación atmosférica en la Ciudad de México crecía a fines de los ochentas, a un ritmo muy preocupante. Es en esta época, con la puesta en marcha del tratado de libre comercio entre EUA, Canadá y México que se pusieron en marcha una serie de medidas para combatirla.

La contaminación atmosférica se ha encontrado entre los problemas más serios que enfrenta nuestro mundo moderno. En la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) ésta es una de las prioridades más urgentes, ya que afecta tanto la calidad de vida de sus más de 15 millones de habitantes como el ecosistema donde se encuentra localizada.

El problema de la contaminación atmosférica, en particular por ozono, no se había abatido a fines del siglo XX al ritmo que se esperaba, a pesar de las estrictas medidas tomadas por las autoridades.

A fines de los 80, la ciudad estaba experimentando lo que en otras ciudades había ocurrido cuando sus habitantes y las industrias localizadas en ella se adaptan a nuevas leyes y normas ambientales. Es decir, el abatimiento de los contaminantes más fáciles de controlar provocó que los contaminantes más pertinaces destacaran. De igual manera, la complejidad del problema hacía imposible que tanto los científicos como los tomadores de decisiones pudieran predecir con precisión los efectos de las nuevas políticas de control utilizando únicamente las herramientas disponibles hasta ese momento.

Dentro de la comunidad mexicana existían dos corrientes acerca del siguiente paso a tomar. La primera sugería que se implantaran las acciones tomadas en otras ciudades con problemas similares de contaminación atmosférica. Este enfoque hubiese colocado a la Ciudad de México en un rezago de cinco, diez o más años con relación a éstas. La segunda, con un enfoque más dinámico y una propuesta de colaboración con los Estados Unidos sugería buscar una herramienta de vanguardia que permitiera analizar el efecto real asociado con cada una de las acciones puestas en marcha, individual o simultáneamente.

Las autoridades mexicanas optaron por esta última y apoyaron el desarrollo conjunto entre científicos de los EUA y México del Estudio Global de la Calidad del Aire en la Ciudad de

México (EGCA). Con lo que además se vislumbraba la posibilidad de tomar el liderazgo en este campo en tan sólo unos años.

Para iniciar este esfuerzo México contaba con técnicos y científicos altamente calificados; equipo de cómputo; una red de monitoreo atmosférico tradicional; experiencia práctica en problemas ambientales locales; habilidad para adaptar diferentes herramientas a la solución de problemas; un marco de cooperación entre las instituciones mexicanas; la recomendación de sus consejeros y asesores de que los aspectos socio-económicos del problema deberían tener igual importancia que los aspectos ambientales. Por último, pero no menos importante existía el ofrecimiento de Petróleos Mexicanos (PEMEX) de aportar recursos financieros para el EGCA.

Los Estados Unidos contaban con la experiencia de sus más destacados científicos, la tecnología de uno de sus más renombrados laboratorios nacionales y el deseo tanto de aprender como de enseñar. Juntos, Estados Unidos y México se propusieron lo que para muchos parecía imposible: lograr en tres años lo que otros países habían alcanzado en décadas. Además de las estrictas medidas tomadas por el Gobierno para revertir las tendencias de la contaminación, una solución integral y de largo plazo exigía un esfuerzo combinado entre autoridades, científicos y tomadores de decisiones.

A finales de los años setenta, el ambiente se transformó; en una prioridad a nivel nacional. Como consecuencia de lo anterior, en 1976 se creó una Subsecretaría encargada de los asuntos ambientales del país. Durante la década de los ochenta el gobierno mexicano adquirió un claro compromiso para resolver los problemas de contaminación. Para ello dio pasos muy concretos en el control de fuentes contaminantes tanto del sector público como del privado.

Este compromiso para erradicar la amenaza a la salud de sus habitantes y ecosistemas de la ciudad, así; como revertir la degradación de la atmósfera, no ha sido igualado por ninguna otra ciudad del mundo.

Las medidas de control que el gobierno tomó; durante los siguientes años abarcan una extensa gama de acciones que van desde mejorar la calidad de los combustibles consumidos en la ZMVM hasta la concientización ciudadana. Importantes esfuerzos se realizaron en mejorar el transporte público, modernizar los métodos de producción industrial, así; como el requerimiento de equipos de control de emisiones en automotores nuevos.

Se aprobó una legislación que prohíbe el establecimiento de nuevas actividades contaminantes y se reubicaron algunos procesos considerados como inapropiados para asentarse en zonas densamente pobladas (16). Asimismo, se establecieron programas para la recuperación y protección de los ecosistemas amenazados y se implantaron controles en el manejo y disposición de los desechos peligrosos.

La activa y dedicada participación ciudadana fue tan ejemplar que se hizo acreedora a un reconocimiento oficial por parte de las Naciones Unidas. Los habitantes de la Ciudad de México están concientes de que juegan un papel clave en la solución del problema y, en la

mayoría de los casos, cooperan con entusiasmo en los programas establecidos. De igual manera, el sector industrial muestra una voluntad para cooperar y, en muchos casos por iniciativa propia, ha modificado procesos de producción con el fin de disminuir las emisiones contaminantes, o bien ha cancelado planes para construir nuevas plantas dentro de la ZMVM y ha optado por construir las en otros sitios.

Las acciones tomadas para establecer normas de calidad más estrictas e implantar medidas de control no mostraban, sin embargo, la efectividad esperada. Evidentemente el problema era más extenso y complejo, por lo que las soluciones a largo plazo eran más difíciles de definir que lo imaginado originalmente por científicos, investigadores y autoridades.

Cada vez era más evidente que cualquier solución real y permanente requería combinar un entendimiento más completo de la intrincada dinámica del problema con un enfoque más informado e integral. Otro elemento clave era la educación y cooperación continua de la población en general, que requiere tomar en cuenta sensibilidades sociales y políticas con el fin de formular reglamentaciones prácticas y aceptables.

Asimismo, los tomadores de decisiones se percataron de que el proceso de abatimiento y recuperación sería arduo y a largo plazo; que requería un enfoque metodológico por etapas, que considerara las condiciones cambiantes derivadas de los resultados intermedios. Antes de que el problema se agravara era esencial implantar acciones de control más efectivas lo más pronto posible. La década o más que tomaría evaluar las opciones para llegar a soluciones de largo plazo era un tiempo que la Ciudad ya no podía esperar.

Las condiciones locales del problema eran únicas entre aquellas ciudades que se habían estudiado. Aunque muchos problemas de contaminación atmosférica tienen elementos en común, cada nación considera su situación para establecer sus propias normas de calidad de aire y reglamentaciones para reducir las emisiones a la atmósfera. Si bien mucho se había aprendido del estudio de otras zonas metropolitanas del orbe, las medidas de control que se aplicaron en otros lugares no necesariamente serían apropiadas para la ZMVM.

El campo del manejo de la calidad del aire es relativamente nuevo. El conocimiento que se tiene de éste es limitado y únicamente algunas naciones altamente industrializadas tienen experiencia en enfrentar los problemas asociados a la gestión y encontrar soluciones. Al igual que otras ciudades, la ZMVM debía evaluar y seleccionar estrategias de control con una alta probabilidad de éxito lo cual, sin una metodología específica para hacerlo podría llevar décadas. Las autoridades sabían que no podían someter a un periodo largo de prueba y error la calidad de vida en la Ciudad.

La Ciudad de México contaba por un lado con un enorme número de opciones y por el otro con un conocimiento limitado de sus impactos potenciales colectivos y sus interdependencias. Los mexicanos sabían que el proceso para obtener el éxito duradero que deseaban -tan rápidamente como lo necesitaban- implicaba más tiempo de lo que podían esperar y más recursos de los que disponían.

LA CIUDAD DE MÉXICO ÚNICA EN SU TIPO

La Ciudad de México, una de las áreas metropolitanas más grandes del mundo, se encuentra localizada a una latitud tropical de 19 grados N y a una altura de más de 2,200 metros sobre el nivel del mar.

En la Ciudad de México se concentran las instituciones gubernamentales del país, así; como gran parte de sus recursos. Estos factores combinados con un acelerado crecimiento durante los últimos cuarenta años y una modernización e industrialización constantes hacen que el problema de la contaminación del aire se intensifique.

Para poner esto en perspectiva, más de la mitad de la industria del país se encuentra localizada en el área urbana de más o menos 1,050 kilómetros cuadrados inscrita en la ZMVM. Adicionalmente, más de una quinta parte de la población nacional habita en la Ciudad, donde se consume más de 150 veces el promedio nacional de energía por unidad de área y circulan las tres quintas partes de los vehículos del país. Estos factores, aunados a la altitud y a su geografía, contribuyen al deterioro de la calidad del aire.

Aún más, la combinación de topografía, clima y altitud de la Ciudad de México añaden un importante grado de dificultad a la tarea de encontrar la solución al problema de la contaminación.

Rodeada por montañas

La Ciudad está; casi completamente rodeada por montañas que alcanzan 1,200 metros de altura, o más, sobre el nivel de ésta. Las montañas, que constituyen una barrera para la circulación del aire, aíslan a la Ciudad de los vientos regionales. Este es un factor importante para la formación del fenómeno natural conocido como inversión térmica. Estas inversiones se producen cuando una "tapa" de aire caliente se sitúa por arriba de una capa de aire frío, atrapando las emisiones contaminantes provenientes de la actividad urbana.

Fábrica de Ozono

El problema de calidad de aire más severo en la Ciudad de México lo constituye el ozono (15). Invisible y sin fuentes de emisión, el ozono se forma en la naturaleza por medio de reacciones fotoquímicas complejas. Estas involucran la interacción de la componente ultravioleta de la luz solar con los contaminantes atmosféricos. Los procesos fotoquímicos que se llevan a cabo en la atmósfera dan lugar a la formación de ozono y a otros contaminantes secundarios.

25% menos atmósfera

A la altitud de la Ciudad de México la atmósfera es aproximadamente 25% menos densa que al nivel del mar. Esto significa que el filtro protector que la atmósfera ofrece es 25% menor. En consecuencia la mayor incidencia de radiación azul y ultravioleta acelera las reacciones fotoquímicas en la atmósfera y da lugar a una mayor formación de ozono.

Problema de ozono durante todo el año

Debido a la latitud de la Ciudad, el número de horas con luz solar y el ángulo directo del sol tienen poca variación estacional. Lo anterior provoca que en la Ciudad de México el problema de ozono está presente durante todo el año, en tanto que en otras ciudades constituye un problema estacional.

¿QUÉ TAN GRAVE ES LA SITUACIÓN?

Con el fin de que los colaboradores extranjeros obtuvieran una buena representación de la Ciudad de México, fue necesario imaginarse una metrópoli con tres veces la densidad de población de Filadelfia y los congestionamientos de tráfico de la Ciudad de Nueva York, combinada con el número de vehículos diesel de un centro de distribución como Chicago, una industria petroquímica similar a la existente en Houston y la actividad gubernamental de Washington, DC.

Más de la mitad de la industria mexicana se encuentra localizada dentro de los 1,050 kilómetros cuadrados que forman la mancha urbana de la ZMVM. Esta a su vez representa menos de un milésimo del territorio nacional. Una quinta parte de los habitantes de México radican en la misma zona, tres quintas partes de los automóviles del país circulan en ella y el promedio del consumo de energía por unidad de área es 150 veces mayor que en 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% en taxis, 20% en combis y minibuses, 16.3% en METRO, 17.8% en autobuses urbanos y suburbanos y 1.3% en trolebuses y tren ligero.

Alrededor del 40% del producto interno bruto se genera en la ZMVM.

Esta combinación del uso de recursos trae como consecuencia la liberación de 11.7 mil toneladas de contaminantes cada día. ¡Es decir, 4.35 millones de toneladas al año!

Si observamos que en 1950 había alrededor de 2000 m² de tierra laborable por habitante y según datos de 1996 (FAO) ésta se ha reducido a 1200, hay una diferencia importante. Si sabemos que constantemente se toma suelo de bosques y selvas para convertir en áreas de cultivo, esta reducción de tierra laborable se puede deber a dos factores principales, el aumento de la población y el deterioro del suelo.

En la forma en que interactúa el desarrollo humano y la biosfera se encuentran parte de esas razones. Por una parte el aumento constante de la población mundial, y por otra, el desarrollo de cada vez más sofisticada tecnología, afectan directamente a la biosfera, haciendo más tensa y compleja la interrelación entre el hombre y la naturaleza (15).

La contaminación ambiental, además de incidir en el cambio climático, tienen efectos sobre todos los elementos de la biosfera. Se depositan y producen reacciones químicas que cambian las condiciones del agua, el aire y el suelo. Transformando un recurso viable para una comunidad biológica específica con la que se encuentran en equilibrio, por zonas de

disturbio, débiles, inestables y con tendencia a la desertificación o a la formación de pantanos (12).

A MANERA DE CONCLUSIÓN

Una de las preocupaciones más importantes de nuestro tiempo es la calidad ambiental del entorno. Como es bien conocido en los últimos 150 años, el planeta ha cambiado la estructura natural de su atmósfera y su hidrosfera más que en todo el tiempo (millones de años) que tiene de existencia (3). Por esta razón la adecuada protección y conservación del ambiente representa uno de los retos más importantes a los que se enfrenta la humanidad. Es evidente que se necesitan cambios drásticos y normas muy estrictas si queremos conservar la calidad de vida en el planeta. Por ejemplo, las estrategias para abatir las altas concentraciones de ozono se han enfocado a la reducción del NOx, pero para el caso de los hidrocarburos han sido muy pocos los estudios y no existe una norma de calidad para los mismos (5).

Como miembros de la sociedad debemos participar en forma activa en la creación de leyes y reglamentos que tengan un impacto benéfico para el ambiente, nuestra salud y la economía. Es importante señalar que las soluciones al problema de la contaminación están más cerca de lo que uno cree, ya que es posible en nuestra vida cotidiana contribuir con actividades sencillas a mejorar nuestro entorno, como por ejemplo, consumir productos no contaminantes, disminuir el uso del automóvil, separar los desechos reciclables en nuestro hogar, crear espacios verdes, etc. Es precisamente aquí donde se manifiesta en forma más categórica el hecho de "pensar globalmente, pero actuar localmente".

El problema de la disponibilidad y calidad del agua, la calidad del suelo, la pureza de la atmósfera, la desaparición de la biodiversidad, son sólo algunos de los elementos que nos deben llevar a la toma de conciencia a todos niveles.

Reuniones internacionales para el acuerdo y aplicación de medidas no deben quedar sólo como eventos políticos. Deben de permitir la búsqueda colectiva de condiciones para frenar el deterioro y lograr mejores condiciones ambientales.

Los organismos son el indicador más determinante del cambio de condiciones. Todos los días desaparecen grupos importantes de organismos debido al cambio de las condiciones ambientales. La sobreexplotación (caza, pesca, tala, cultivo intensivo), la intromisión de especies exóticas (fauna, flora, transgénicos) a ambientes naturales, la pérdida de hábitat por cambio de uso de suelo (urbanización y la delimitación de parcelas), la contaminación y el aislamiento que rompe la continuidad entre las poblaciones, son los factores principales para la pérdida de la biodiversidad.

El aumento constante de la población y su migración a áreas urbanas y suburbanas genera una serie de fenómenos: el cambio del uso de suelo, la producción de basura contaminante, la sobreexplotación de recursos hídricos, el aumento en la explotación de recursos y el consumo de combustibles fósiles, la aniquilación, sustitución y desplazamiento de la flora y la fauna natural.

Es importante también, que los ciudadanos tomen conciencia y entiendan que su bienestar y confort personal inmediato no son lo único que importa ni lo más importante. Nuestros

gobernantes deben entender que sin ambiente, sin suelo, sin agua, no hay prosperidad económica que dure ni dominio que valga la pena.

Es ahí donde México se debe aplicar, porque no tiene experiencia en innovación e invenciones, y ello representaría enfrentarse a la solución de problemas, al destinar mayores recursos humanos y materiales a la investigación y desarrollo en cambio climático (9).

Bibliografía

Bravo J. L., Nava M. M. y Gasca J. R. La concentración de SO₂ en la atmósfera de la zona metropolitana de la ciudad de México y los cambios o reformulación de diversos combustibles fósiles. Ciencias de la Atmósfera y Climatología. Clima Urbano y Contaminación CAC-08 pp. 99.

Cortez-Lugo, M., M. Tellez-Rojo, H. Gómez-Dantes, M. Hernández-Ávila. 2003. Tendencia de los niveles de plomo en la Atmósfera de la Zona metropolitana de la ciudad de México. 1988-1998. Salud Pública de México: (45).

INE. SEMARNAT. Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental. Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico.

Escobedo, F. J., V. Ayala, R. Andrés y A. Ramírez-González. La problemática ambiental en la ciudad de México Generada por las fuentes fijas. SEMARNAT. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación.

Fernández, B. A.. 2001. La contaminación del aire, como abatir este problema de salud. Instituto Nacional de Ecología. Ecológica, marzo de 2001.

Gay, C. Debe México pasar de la planeación a la Acción para detener el cambio climático. Boletín UNAM-DGCS-130. Ciudad Universitaria.

Guidotti, T. L. Los países en desarrollo y la contaminación. Capítulo: Riesgos Ambientales para la salud en la Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. 53.10

INE, SEMARNAP, CENICA. Primer informe sobre la calidad del aire en ciudades Mexicanas 1996. Center Press International S.A. de C. V. pp. 35-57, 63-70. 1997.

Lacasaña-Navarro, 1999. Evolución de la contaminación del aire e impacto de los programas de control de tres megaciudades de America Latina. Salud Pública de México, mayo-junio, año/vol. 41, numero 003. Instituto Nacional de Salud Pública: 203-215.

Mackinley A. 2003. Local benefits of global air pollution control in Mexico city. INE. INSP. pp. 86-92, 96-105.

Patz, A. J. El cambio climático mundial y el agotamiento del ozono. Capítulo: Riesgos Ambientales para la salud en la Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. 53.27

Pichs, M. R. 1998. Tecnología, energía y medio ambiente. Potencialidades y limitaciones internacionales para una reestructuración energética sostenible y retos para México. Tesis doctoral. División de Estudios de Posgrado. Facultad de Economía. UNAM.

Romieu I. 1999. Estudios epidemiológicos sobre los efectos de la salud por la contaminación del aire de origen vehicular en Salud publica de México. 3 (41)

Romieu, I. La contaminación del aire. Capítulo: Riesgos Ambientales para la salud en la Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. 53.11

SEMARNAT. Norma Oficial Mexicana NOM-097-SEMARNAT-1995. abril de 2003.

Vega R. E., A. Mugica, V. Díaz, G. Luis y L. F. Ramos. 2000. Comparación de perfiles de emisiones vehiculares en túnel y en dinamómetro. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 16 (2): 55-60.

Yahilyire F, C. Gay y A. Juárez. Impacto de Emisiones Volcánicas, sobre la calidad del aire en la ciudad de Puebla. Ciencias de la Atmósfera y Climatología. Cartel CAC-30. pp. 158.

Yassi A. y K. Tord. Conexiones entre la salud ambiental y la salud en el trabajo. Capítulo: Riesgos Ambientales para la salud en la Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. 53.2

http://www.dgcs.unam.mx/boletín/bdboletin/2007_130.html.

http://www.conam.gob.pe/educamb/cont_aire.htm. Contaminación del aire 2007