



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM  
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

**CURSOS INSTITUCIONALES**

**MONITOREO  
ATMOSFÉRICO**

Del 15 al 26 de julio de 2002

***APUNTES GENERALES***

CI-193

**Ing. Miguel Ángel Castillo Hoil**  
**Dirección General de Servicios Urbanos**  
**Julio/2002**

### **7.1.3 ¿Qué significa esta información?**

En principio, el simple hecho de que una sustancia aparezca en el listado del RETC significa que tiene características que la hacen de prioridad ambiental, pues proviene de una base de datos conformada por sustancias incluidas en los RETC de otros países, en el listado de sustancias prioritarias de algunos países miembros de la OCDE y en las NOM mexicanas y ha cumplido los criterios de toxicidad, persistencia y bioacumulación establecidos en el protocolo de selección de sustancias del RETC.

Para conformar el listado del RETC se consideraron las propiedades de persistencia ambiental, bioacumulación y toxicidad de las sustancias (explicadas en el capítulo sobre toxicología de este manual) de acuerdo con los parámetros del Sistema de Evaluación de Contaminantes Ambientales (Ontario Ministry of the Environment Scoring System, MOEE). Para la definición de la lista de sustancias a ser empleadas en el RETC se establecieron 2 criterios principales basados en dichos parámetros.

El primer criterio está pensado para incluir aquellas sustancias que presentan las características de mayor peligrosidad, por sus efectos tóxicos crónicos y agudos, sin tomar en cuenta su persistencia en el ambiente y su bioacumulación. El segundo se fundamenta en los efectos dañinos al ambiente o a la salud humana producidos por sustancias medianamente tóxicas, y/o persistentes, y/o bioacumulables.

**Lo bueno:** Los criterios de selección aseguran que las sustancias de prioridad ambiental estén incluidas en la lista del RETC.

**Lo malo:** Es difícil para los no expertos comprender que tan estrictos o laxos son en realidad estos criterios.

**Lo feo:** A pesar de las características de estas sustancias, actualmente su reporte es voluntario.

Eventualmente, el RETC hará pública información valiosa sobre la emisión y transferencia de estas sustancias. La capacidad de interpretar estos datos por parte de la sociedad resulta tan importante como la información misma, por lo que resulta imprescindible contar con herramientas que nos faciliten esta tarea. En el caso de las sustancias normadas, podemos encontrar orientación en las mismas normas, que marcan los métodos de medición, máximos permisibles y condiciones para su aplicación. En las Tablas 15 a 20 se muestra un resumen de las normas y de las sustancias que regulan (las normas pueden consultarse en la página de Internet del Instituto Nacional de Ecología; <http://www.ine.gob.mx/normas/index.html>).

**TABLA 15. RESUMEN DE NORMAS OFICIALES MEXICANAS RELACIONADAS CON EL RETC Y LAS SUSTANCIAS QUE REGULAN**

Norma	Sustancia	Norma	Sustancia
	<b>Atmósfera</b>		<b>Agua</b>
NOM-039-ECOL-1993	Dióxido de azufre	NOM-001-ECOL-1996	Compuestos de arsénico
NOM-040-ECOL-1993	Trióxido de azufre		Compuestos de cadmio
NOM-043-ECOL-1993	Ácido sulfúrico		Compuestos de cianuro
NOM-046-ECOL-1993	Óxidos de nitrógeno		Compuestos de cobre
NOM-075-ECOL-1995	Monóxido de carbono		Compuestos de cromo
NOM-085-ECOL-1994	Bióxido de carbono		Compuestos de mercurio
NOM-097-ECOL-1995	Compuestos orgánicos volátiles		Compuestos de níquel
NOM-105-ECOL-1996	Partículas sólidas		Compuestos de plomo
			Compuestos de zinc

**TABLA 16. RESIDUOS PELIGROSOS NOM-052-ECOL-1993 Y NOM-053-ECOL-1993**

1,1,1,2-tetracloroetano	1,1,1-tricloroetano	1,1,2,2-tetracloroetano	1,1,2-tricloroetano
1,1,2-tricloro-1,2,2-trifluoretano	1,1-dicloroetileno	1,2-diclorobenceno	1,2-dicloroetano
1,4-diclorobenceno	2,3,4,6-tetraclorofenol	2,4,5-triclorofenol	2,4,6-triclorofenol
2,4-dinitrotolueno	2,6-diclorofenol	2-etil-hexilalcohol	2-etoxietanol
2-nitropropano	Aceites aromáticos	Aceites nafténicos	Acetato de amilo
Acetato de butil carbitol	Acetato de butil celosolve	Acetato de butilo	Acetato de carbitol
Acetato de celosolve	Acetato de etilo	Acetato de isoamilo	Acetato de isopropilo
Acetato de metil celosolve	Acetato de metilo	Acetato de vinilo	Acetona
Acido 2,4 diclorofenoxiacético	Acido acético	Acido acrílico	Acido azelaico
Acido clorhídrico	Acido cresílico	Acido dietilfosforoditióico	Acido dimetilpropionico
Acido etil 2-hexoico	Acido fumárico	Acido isoftálico	Acido isononanoico
Acido oxálico	Acido paratoluen sulfónico	Acido sebasico	Acido sulfónico aromático
Acido sulfúrico	Acido tereftálico	Acrilato de butilo	Acrilato de metilo
Acilonitrilo	Aguarras (trementina)	Albayalde	Alcanoato de cobalto
Alcanoato de plomo	Alcohol diacetona	Alcohol etílico	Alcohol isobutílico
Alcohol n-butílico	Alcohol polivinílico	Amarillo cadmio	Amarillo cromo
Amarillo naftol	Amarillo uramina	Amarillo zinc	Amoniaco
Anhidrido ftálico	Anhidrido maleico	Anhidrido metacrílico	Anhidrido succínico
Anhidrido trimetílico	Antiespumante orgánico (foamicide b-18)	Aromina 100	Aromina 150
Arsénico	Asbesto	Azul de hierro	Azul ftalocianina
Azul victoria colorante	Bario	Benceno	Bifenilos policlorados
Cadmio	Carbonilo de níquel	Ciclohexano	Ciclohexanona
Ciclopentadieno	Clordano	Cloroacetaldehído	Clorobenceno
Clorofenol	Cloroformo	Cloruro de mercurio	Cloruro de metileno
Cloruro de vinilo	Compuestos de arsénico	Compuestos de bario	Compuestos de cadmio
Compuestos de cobre	Compuestos de cromo +VI	Compuestos de mercurio	Compuestos de níquel
Compuestos de plata	Compuestos de plomo	Compuestos de selenio	Cromo hexavalente
Crotonaldehído	Dibutilamina	Dicloroetano	Dietil cetona
Dietilenglicol	Dietilentiamina	Disulfuro de carbono	Endrin
Estreno	Eter bis (2-cloro etílico)	Eter etílico	Eter metílico del etilenglicol
Eter metílico del propilen glicol	Eter monobutílico del dietilenglicol	Eter monoetílico del etilenglicol	Eter monopropílico del etilenglicol
Etil metil cetona	Etil metil cetoxima	Etilbenceno	Fenol
Fenol-formaldehído	Fluorocarbonos clorados	Formaldehído	Formaldehído tipo triacina
Ftalato de butil bencilo	Gas nafta	Gas solvente	Gasolina incolora
Heptacloro	Heptacloro epoxico	Heptano	Hexacloro-1,3-butadieno
Hexaclorobenceno	Hexacloroetano	Hexano	Hidrocarburos clorados
Hidroperóxido de cumeno	Hidroquinona	Hidróxido de amonio	Hidróxido de sodio
Isobutanol	Isocianatos	Isoforona	Isopropanol
Lindano	Ltargirio	M-cresol	Melamina formaldehído
Mercurio	Metacrilato de butilo	Metacrilato de etilo	Metacrilato de isobutilo
Metacrilato de metilo	Metanol	Metil isoamil cetona	Metil isobutil carbinol
Metil isobutilcetona	Metoxicloro	Mirio	Naftenato de cobalto
Naftenato de plomo	Naranja 29-19 pirazolona	Naranja bencidina	Naranja cromo 25
Naranja molibdato	N-butano	Neodecanato de cobalto	Neodecanato de plomo
Níquel	Nitrito de sodio	Nitrobenceno	Nitrocelulosa
O-cresol	Octoato de cobalto	Octoato de plomo	O-diclorobenceno
Oxido de mercurio	Oximas	Paraformaldehído	P-cresol
Pentaclorobenceno	Pentaclorofenol	Pentaeritrol	Peroxi-2-etil hexanoato de terbutilo

**TABLA 17. RESIDUOS PELIGROSOS NOM-052-ECOL-1993 Y NOM-053-ECOL-1993 (CONT.)**

Peroxido de azo-disisobutironitrilo	Peroxido de benzóilo	Peroxido de ciclohexanona	Peroxido de dterbutilo
Peroxido de laurilo	Peroxido de metilacetona	Peroxido de terbutil per benzoato	Piridina
Plata	Plomo	Pohamida (resina)	Poliéster (resina)
Poliésteres (resinas)	Propilén glicol	Resina hematoximetil melamina	Resinas acrílicas en solución
Resinas alquídicas de aceite corta	Resinas alquídicas de aceite larga	Resinas alquídicas de aceite medio	Resinas epoxicas
Resinas fenólicas en solución	Resinas fenólicas modificadas y en solución	Resinas fumaricas	Resinas maleicas
Rojo cadmio	Rojo molibdato	Sales de mercurio	Selenio
Silicato de etilo	Silicon alquidal	Silicones	Silvex (ácido 2,4,5-tricloro fenoxipropionico)
Sulfato de plomo	Sustancia	Tetraclorobenceno	Tetracloroetileno
Tetraclorofenol	Tetracloruro de carbono	Trimetil etil amina	Toluen diisocianato (resina)
Tolueno	Toxafeno	Tricloroetileno	Triclorofenol
Tricolorofluorometano	Trietilamina	Trietilen tetraamina	Trifenilfosfito
Trimetiloletano	Trimetilopropano	Urea formaldehido	Uretanos (resinas)
Verde cromo 25	Violeta de carbazol	Vmp nafta	Xileno

**TABLA 18. NORMAS OFICIALES MEXICANAS PARA CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA (INDUSTRIA)**

CLAVE	REGULACIÓN
NOM-039-ECOL-1993	Plantas productoras de ácido sulfúrico. (Bióxido y Trióxido de Azufre)
NOM-040-ECOL-1993	Fabricación de cemento. (Emisiones Fugitivas)
NOM-043-ECOL-1993	Partículas sólidas provenientes de Fuentes Fijas.
NOM-046-ECOL-1993	Procesos de producción de ácido dodecibencensulfónico en Fuentes Fijas.
NOM-051-ECOL-1993	Gasóleo industrial que se consume por Fuentes Fijas en la ZMCM.
NOM-075-ECOL-1995	Compuestos orgánicos volátiles provenientes del proceso de separadores agua-aceite de las refinerías de petróleo.
NOM-085-ECOL-1994	Combustibles para equipo de calentamiento indirecto y directo por combustión.
NOM-086-ECOL-1994	Contaminación atmosférica especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en Fuentes Fijas y Móviles.
NOM-092-ECOL-1995	Instalación de sistemas de recuperación de vapores de gasolina en estaciones de servicio y de autoconsumo en el Valle de México.
NOM-093-ECOL-1995	Sistemas de recuperación de vapores de Gasolina en estaciones de servicio y autoconsumo. (Método de prueba)
NOM-097-ECOL-1995	Material particulado y óxidos de nitrógeno en los procesos de fabricación de vidrio en el país
NOM-105-ECOL-1995	Que establece los niveles máximos permisibles de emisiones a la atmósfera de partículas sólidas totales y compuestos de azufre reducido total provenientes de los procesos de recuperación de químicos de las plantas de fabricación de celulosa.
NOM-121-ECOL-1997	Que establece los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles (COV's) provenientes de las operaciones de recubrimiento de carrocerías nuevas en planta de automóviles, unidades de uso múltiple, de pasajeros y utilitarios; carga y camiones ligeros, así como el método para calcular sus emisiones.

**TABLA 19. NORMAS OFICIALES MEXICANAS PARA CONTROL DE RESIDUOS PELIGROSOS**

CLAVE	REGULACIÓN
NOM-052-ECOL-1993	Listado de Residuos Peligrosos por su toxicidad al ambiente.
NOM-053-ECOL-1993	Determinación de Residuos Peligrosos por su Toxicidad al ambiente.
NOM-054-ECOL-1993	Incompatibilidad entre dos o más Residuos Peligrosos según la NOM-052-ECOL-1993.
NOM-055-ECOL-1993	Confinamiento controlado de Residuos Peligrosos, excepto los Radiactivos.
NOM-056-ECOL-1993	Obras complementarias de un confinamiento controlado de Residuos Peligrosos
NOM-057-ECOL-1993	Diseño, construcción y Operación de celdas de un confinamiento controlado para Residuos Peligrosos.
NOM-058-ECOL-1993	Operación de un confinamiento controlado de Residuos Peligrosos.
NOM-083-ECOL-1996	Condiciones que Deben Reunir los sitios destinados a la disposición final de los Residuos Sólidos Municipales. (Aclaración 7-marzo-1997)
NOM-087-ECOL-1995	Separación, Envasado, Almacenamiento, Recolección, Transporte, Tratamiento y Disposición final de los Residuos Peligrosos Biológico-Infeciosos que se generan en establecimientos que presten atención médica.

**TABLA 20. NORMAS OFICIALES MEXICANAS PARA CONTROL DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

CLAVE	REGULACIÓN
NOM-001-ECOL-1996	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residuales en aguas y Bienes Nacionales. (Aclaración 30-abril-1997)
NOM-002-ECOL-1996	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas Residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
NOM-003-ECOL-1996	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.

Fuente: Instituto Nacional de Ecología

En el caso de sustancias para las que no existe normatividad, podemos obtener una idea de sus características y de los riesgos que revisten ciertos niveles de concentración, emisión o los asociados con su manejo, recurriendo a bibliografía sobre el tema o por medio de Internet, consultando las páginas de otros RETC, o aquellas que contienen bases de datos sobre químicos (este manual proporciona un pequeño catálogo con las sustancias, bibliografía, y sitios de Internet más importantes, así como una lista de las emisiones características de 19 industrias que se encuentra al final de este capítulo). Son especialmente prácticas las que permiten hacer búsquedas, como la del Chemfinder (<http://www.chemfinder.com/>), la de Scorecard (<http://www.scorecard.org/chemical-profiles/index.tcl>) o la de la Universidad de Akron (<http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/>). Otras son muy recomendables por la gran cantidad de información que contienen, como la página sobre sustancias químicas del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA; <http://irptc.unep.ch/irptc/>) y la del Chemical Evaluation Search and Retrieval System (CESARS; <http://www.chempute.com/cesars.htm>), desarrollada por el Michigan Department of Natural Resources y el Ontario Ministry of Energy and Environment (utilizada en la evaluación toxicológica de las sustancias del RETC).

Si bien es cierto que los sitios de Internet contienen en su mayoría información en inglés, es posible obtener una traducción gratuita de la misma recurriendo a un "traductor en línea" (por ejemplo, el de Altavista; <http://babelfish.altavista.digital.com/cgi-bin/translate>). Aunque la traducción resultante suele ser muy limitada, es posible que sea suficiente como para permitirnos encontrar los datos que buscamos. En este sentido, resulta ventajoso que los buscadores dentro de las páginas sobre químicos nos brinden la opción de hacer la consulta por la fórmula molecular de la sustancia (por ejemplo, CO<sub>2</sub> en lugar de bióxido de carbono), o su número CAS (Chemical Abstracts Services<sup>1</sup>), pues de esta forma no es necesario que sepamos la traducción de su nombre al inglés.

Otra buena fuente de información es la base de datos del Registro Internacional de Químicos Potencialmente Tóxicos (IRPTC, por sus siglas en inglés) del PNUMA vía File Transfer Protocol (FTP) en la dirección <ftp://194.54.81.35/pub/database/ziped/irptc.zip> e instalarla en nuestra computadora, con la ventaja de que la podemos consultar en cualquier momento sin necesidad de estar conectados al Internet.

---

<sup>1</sup> Los números de registro CAS fueron inventados en 1975 y desde entonces se han convertido en un estándar internacional que se utiliza como código en sistemas computarizados para sustancias químicas. Es un número único que se le asigna a cada sustancia química identificada desde 1956.

Es importante tener siempre en mente que para interpretar correctamente esta información es imprescindible tomar en consideración las condiciones específicas del lugar, de la planta emisora o de la transferencia. Por ejemplo, si llegáramos a encontrar información sobre una sustancia para la cual no existe normatividad en nuestro país y descubriéramos que otro país sí cuenta con regulaciones para la emisión de la misma, habría que poner especial atención a las condiciones para la determinación de los niveles máximos de emisión y ver hasta qué punto coinciden con las del caso que nos concierne.

## **7.2. LA INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO .**

### **7.2.1 ¿Cómo funciona el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (SIMA)?**

La idea de contar con un Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México es recolectar, de manera continua, información certera acerca de los tipos de contaminantes que se emiten en las diferentes zonas urbano industriales y de las condiciones meteorológicas que pueden contribuir a mejorar o empeorar la calidad del aire en la zona metropolitana. Esta información es valiosa, por un lado, para las autoridades porque les permite definir políticas y estrategias de prevención y control de la contaminación y evaluar la eficacia de sus programas, y por el otro, para la sociedad civil porque nos brinda bases para actuar ante la contaminación y exigir un desempeño efectivo por parte de la autoridad, participando en la generación de dichas políticas, estrategias y programas.

Para lograr su objetivo, el SIMA se divide en tres redes o subsistemas:

- La Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA)
- La Red Manual de Monitoreo Atmosférico
- La Red Meteorológica

La Red Automática de Monitoreo Atmosférico cuenta con 32 estaciones de monitoreo distribuidas en el Distrito Federal (21) y el Estado de México (11). La medición se realiza por medio de equipos analizadores de parámetros de gases específicos como el ozono, los óxidos de nitrógeno, monóxido y dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono y

partículas suspendidas de fracción respirable (PM-10). Estos datos se transmiten vía módem a una computadora central que mantiene comunicación con el resto de la red 24 horas al día los 365 días del año, de manera que se puede observar continuamente el comportamiento de los contaminantes.

La Red Manual de Monitoreo complementa esta labor al recabar información sobre las partículas suspendidas en el aire (partículas suspendidas totales y PM-10) y los elementos que contienen. En este caso, la medición se realiza durante 24 horas una vez cada 6 días a través de 19 estaciones que miden las concentraciones de material sólido suspendido y cinco que miden la fracción respirable del mismo. Todas las estaciones son capaces de determinar los componentes metálicos que capturan (plomo, cadmio, cobre, zinc y níquel), así como los sulfatos y nitratos.

La información que se obtiene a través de las 10 estaciones de la Red Meteorológica (velocidad y dirección del viento, humedad relativa, temperatura, temperatura de capa de mezclado) es enviada en tiempo real al Sistema Central de Control y se utiliza junto con la que proporciona el Servicio Meteorológico Nacional para evaluar la calidad del aire en condiciones meteorológicas normales y extraordinarias.

El Sistema de Monitoreo cuenta además con unidades de apoyo, constituidas por un laboratorio de calibración y transferencia de estándares, que se encarga de certificar el estado operativo de la red, y unidades móviles de monitoreo atmosférico, que hacen estudios de lugares específicos o remotos durante períodos determinados o en caso de accidentes. La calidad del sistema se asegura continuamente a través de un programa establecido con este fin.

### **7.2.2. ¿Qué contaminantes cubre el SIMA y cuáles son sus efectos?**

La Tabla 21 resume los contaminantes sobre los que el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México provee información, así como sus características y efectos.

### **7.2.3. ¿Qué significa esta información?**

Generalmente, la información sobre concentraciones de contaminantes en el aire, al igual que los criterios para evaluar la calidad del mismo, están dados en partes por millón en volumen (ppm), partes por billón en volumen (ppb) o incluso en microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Con el fin de facilitar la interpretación de esta información en términos de calidad del aire y de los efectos que causan las diferentes concentraciones de estos contaminantes sobre la salud se estableció el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA).

El IMECA asigna un valor de 100 al nivel de concentración de cualquier contaminante que alcanza el criterio mexicano de calidad del aire (por ejemplo, una lectura de 100 IMECA de ozono es igual a una concentración de 0.11 ppm (como se ve en la Tabla 21) y un valor de 500 al nivel en que ocurren daños significativos a la salud. Entre estos dos valores se establecieron tres más para definir valores intermedios de la calidad del aire, como se puede observar en la Tabla 22.



**TABLA 21. PRINCIPALES EFECTOS, CRITERIOS DE CALIDAD DEL AIRE Y FUENTES DE LOS CONTAMINANTES MONITOREADOS POR EL SIMA**

Contaminante	Criterios para evaluar la calidad del aire	Características del contaminante	Fuentes principales	Efectos principales
Partículas Suspendidas en su Fracción Respirable (PM-10)	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (microgramos sobre metro cúbico) en un promedio de 24 horas.	Partículas sólidas o líquidas dispersas en la atmósfera (su diámetro va de 0.3 a 10 $\mu\text{m}$ ) como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen. La fracción respirable de PST, conocida como PM-10, está constituida por aquellas partículas de diámetro inferior a 10 micras, que tienen la particularidad de penetrar en el aparato respiratorio hasta los alvéolos pulmonares.	Combustión industrial y doméstica del carbón, combustóleo y diesel; procesos industriales, incendios, erosión eólica y erupciones volcánicas	Salud.- Irritación en las vías respiratorias; su acumulación en los pulmones origina enfermedades como la silicosis y la asbestosis. Agravan el asma y las enfermedades cardiovasculares. Materiales.- Deterioro en materiales de construcción y otras superficies. Vegetación.- Interfieren en la fotosíntesis. Otros.- Disminuyen la visibilidad y provocan la formación de nubes
Monóxido de Carbono (CO)	Un promedio de 11 ppm en 8 horas.	Gas incoloro e inodoro que se combina con la hemoglobina para formar la carboxihemoglobina y puede llegar a concentraciones letales.	Combustión incompleta de hidrocarburos y sustancias que contienen carbono, tales como la gasolina, el diesel, etc. Otra importante fuente de formación del monóxido de carbono son los incendios.	Salud.- La carboxihemoglobina afecta al sistema nervioso central provocando cambios funcionales cardiacos y pulmonares, dolor de cabeza, fatiga, somnolencia, fallos respiratorios y hasta la muerte.
Ozono ( $\text{O}_3$ )	Ozono: Un promedio horario máximo de 216 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.11 ppm).	Compuesto gaseoso incoloro producido en presencia de luz solar. Oxida materiales no inmediatamente oxidables por el oxígeno gaseoso.	Reacciones atmosféricas de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno bajo la influencia de la luz solar.	Salud.- Irritación de los ojos y del tracto respiratorio. Agravan las enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Materiales.- Deterioran el hule, los textiles y la pintura Vegetación.- Provocan lesiones en las hojas y limitan su crecimiento Otros.- Disminución de la visibilidad.
Dióxido de Nitrógeno ( $\text{NO}_2$ )	Un promedio horario máximo de 395 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.21 ppm).	Gas café rojizo de olor picante.	Combustión a alta temperatura en industrias y vehículos Tormentas eléctricas	Salud.- Irrita los pulmones; agrava las enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Materiales.- Destefimiento de pinturas Vegetación.- Calda prematura de las hojas e inhibición del crecimiento. Otros.- Disminución la visibilidad

**TABLA 21. PRINCIPALES EFECTOS, CRITERIOS DE CALIDAD DEL AIRE Y FUENTES DE LOS CONTAMINANTES MONITOREADOS POR EL SIMA (continuación)**

Contaminante	Criterios para evaluar la calidad del aire	Características del contaminante	Fuentes principales	Efectos principales
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	Un promedio móvil de 0.13 ppm en 24 hrs.	Gas incoloro con olor picante que al oxidarse y combinarse con agua forma ácido sulfúrico, principal componente de la lluvia ácida.	Combustión de carbón, diesel, combustóleo y gasolina con azufre. Fundición de betas metálicas ricas en azufre, procesos industriales y erupciones volcánicas.	Salud.- Irrita los ojos y el tracto respiratorio. Reduce las funciones pulmonares y agrava las enfermedades respiratorias como el asma, la bronquitis crónica y el enfisema. Materiales.- Corroe los metales; deteriora los contactos eléctricos, el papel, los textiles, las pinturas, los materiales de construcción y los monumentos históricos Vegetación.- Provoca lesiones en las hojas y reducción en la fotosíntesis.
Hidrocarburos (HC)	Sólo en una estación de la R.A.M.A. del Valle de México se miden hidrocarburos tales como Benceno, Tolueno y Formaldehído, para los que aún no existe una norma de calidad del aire	Compuestos orgánicos que contienen carbono e hidrógeno en estado gaseoso. Se pueden combinar en presencia de la luz solar con óxidos de nitrógeno y participan en la formación del smog fotoquímico.	Combustión incompleta de combustibles y otras sustancias que contienen carbono. Procesamiento, distribución y uso de compuestos derivados del petróleo, tales como la gasolina y los solventes orgánicos. Incendios, reacciones químicas en la atmósfera, y descomposición bacteriana de la materia orgánica en ausencia del oxígeno.	Salud.- Trastornos en el sistema respiratorio; algunos hidrocarburos provocan el cáncer.
Plomo	Una norma de 1.5 µg/m <sup>3</sup> durante 3 meses.	Metal pesado no ferroso que se presenta en forma de vapor, aerosol o polvo.	Combustión de gasolina con plomo, minería, fundición y procesos industriales.	Salud.- Se acumula en los órganos del cuerpo, causa anemia, lesiones en los riñones y el sistema nervioso central (saturnismo).

Fuente: SIMA, 1999.

**TABLA 22. CALIDAD DEL AIRE Y EFECTOS SOBRE LA SALUD PARA DIFERENTES NIVELES DEL IMECA**

<b>IMECA</b>	<b>Calidad del aire</b>	<b>Efectos</b>
0-100	Satisfactoria	Situación favorable para la realización de todo tipo de actividades
101-200	No Satisfactoria	Aumento de molestias menores en personas sensibles
201-300	Mala	Aumento de molestias e intolerancia relativa al ejercicio en personas con padecimientos respiratorios
301-500	Muy mala	Aparición de diversos síntomas e intolerancia al ejercicio en la población

<b>IMECA</b>	<b>Satisfactorio 0 - 100</b>	<b>No Satisfactorio 100 - 150</b>	<b>No Satisfactorio 150 - 200</b>	<b>Malo 200 - 300</b>
--------------	------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------

Fuente: SIMA

De esta forma, no es necesario que conozcamos los criterios de calidad del aire para cada uno de los contaminantes, basta saber que a partir de 100 puntos IMECA de cualquiera de ellos, ésta no es satisfactoria y que cuanto más se acerque a los 500 más amenazada se verá nuestra salud.

**Lo bueno:** El IMECA ofrece una forma fácil de interpretar los registros de la calidad del aire y sus efectos sobre la salud.

**Lo malo:** Si bien las diferentes clasificaciones de la calidad del aire y sus efectos sobre la salud resultan prácticas, los parámetros usados para determinarlas no son tan conocidos ni tan accesibles. Sabemos que 300 IMECA representan una muy mala calidad de aire, pero no sabemos con tanta facilidad porqué se le clasificó así.

**Lo feo:** Los habitantes de la Ciudad de México nos hemos acostumbrado a vivir con altos niveles de contaminación. A pesar de disponer de esta información, son raras las acciones que emprendemos por reducir la contaminación del aire, fuera de los obligatorios "hoy no circula", las verificaciones vehiculares y las medidas que se aplican durante las contingencias.

### **7.3. EL EFECTO DE LOS CONTAMINANTES SOBRE EL CLIMA. EL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL.**

A diferencia de los dos temas anteriores, en el caso del cambio climático no existe una relación directa entre el punto donde se generan las emisiones y el lugar donde se sienten sus efectos. Las consecuencias de la emisión de gases de invernadero son de carácter global, es decir, que afectan el clima de todo el planeta y no únicamente del punto donde se producen las emisiones. De la misma forma, la reducción de emisiones en cualquier punto de la Tierra tendrá beneficios globales. Así, es por lo menos tan importante la información sobre las emisiones de cada país como la de los programas nacionales, acciones y medidas que piensen implementar y los resultados de las que ya hayan llevado a cabo.

#### **7.3.1 ¿Cuáles son los gases de efecto de invernadero y de dónde provienen?**

Los gases de efecto de invernadero existen de forma natural en la atmósfera y juegan un papel fundamental en la temperatura de la Tierra. Cuando la radiación solar llega a nuestro planeta en la forma de luz visible, una parte de ella (cerca de un 30%) es reflejada inmediatamente hacia el espacio, mientras que el resto atraviesa la atmósfera y calienta la superficie terrestre. Ésta emite entonces radiación térmica o infrarroja (que es la que surge, por ejemplo, de un hierro caliente antes de "brillar al rojo vivo"), la cual es absorbida en parte por los gases de efecto de invernadero, resultando en un calentamiento de la atmósfera y la superficie. Esto permite que la temperatura de la Tierra sea de unos 15°C en promedio, muy favorable para el desarrollo de la vida.

Los gases de invernadero son principalmente el vapor de agua, el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y los considerados indirectos por contribuir a la formación atmosférica del ozono: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y compuestos orgánicos volátiles no-metano (COVNM). En las últimas décadas a éstos se les han sumado otros manufacturados por el hombre, como los clorofluorocarbonos (CFCs), hidroc fluorocarbonos (HCFCs), perfluorocarbonos (PFCs) e hidrof luorocarbonos (HFCs). En la Tabla 23 a continuación se pueden observar las principales fuentes y características de los gases de invernadero más importantes.

Como se puede ver, algunos de ellos tienen mayor capacidad para retener radiación térmica que otros (lo que se conoce como potencial de calentamiento global), el metano, por ejemplo,

es 21 veces más potente como gas de invernadero que el bióxido de carbono (tomado aquí como base para las comparaciones).

**TABLA 23. PRINCIPALES GASES DE EFECTO DE INVERNADERO**

	<i>Bióxido de Carbono</i> <i>CO<sub>2</sub></i>	<i>Metano</i> <i>CH<sub>4</sub></i>	<i>Óxido Nitroso</i> <i>N<sub>2</sub>O</i>	<i>Hidrofluorocarbonos</i> <i>HFCs</i>	<i>Perfluorocarbonos</i> <i>PFCs</i>	<i>Hexafluoruro de azufre</i> <i>SF<sub>6</sub></i> #
<b>Concentraciones preindustriales</b>	~280 ppmv	~700 ppbv	~275 ppbv			0.03 pptv
<b>Concentraciones en 1994</b>	358 ppmv	1720 ppbv	312 ppbv <sup>1</sup>			2.8 pptv
<b>Razón de cambio en las concentraciones*</b>	1.5 ppmv/año 0.4%/año	10 ppbv/año 0.6%/año	0.8 ppbv/año 0.25%/año			0.2 pptv/año (1994)
<b>Vida atmosférica (años)</b>	50-200 <sup>2</sup>	12 <sup>3</sup>	120	1.5 (HFC 152a) a 264 (HFC-23)		3200
<b>Potencial de calentamiento global a 100 años <sup>a)</sup></b>	1	21	310	140 (HFC-152a) a 11,700 (HFC-23)		23900
<b>Principales fuentes</b>	Quema de combustibles fósiles, producción de cemento, cambios en uso de suelo tropical.	Cultivo de arroz bajo agua, rellenos sanitarios, ganadería, combustión de biomasa, producción y consumo de combustibles fósiles.	Agricultura (pastoreo en regiones tropicales), quema de biomasa, procesos industriales (producción de ácido adipico y ácido nítrico).	Gases producidos por el hombre utilizados para reemplazar sustancias agotadoras de la capa de ozono en algunas aplicaciones.	La utilización de PFCs como productos intermedios en la fundición de aluminio constituye la principal fuente, seguida de la fabricación de semiconductores.	El SF6 se utiliza como aislante en interruptores y equipos eléctricos. Surge también de fugas en procesos de fabricación de algunos semiconductores, manufactura de magnesio.

ppmv: Partes por millón de volumen.

ppbv: Partes por billón (mil millones) de volumen.

pptv: Partes por trillón (un millón de millones) de volumen.

a) El potencial de calentamiento atmosférico expresa la importancia relativa de los gases de invernadero con relación al CO<sub>2</sub> en un horizonte de tiempo determinado. Esto es así, pues los gases permanecen en la atmósfera tiempos diferentes, por lo que el potencial de calentamiento es función de cuán eficiente es el gas para absorber radiación infrarroja y cuánto tiempo permanece en la atmósfera. Por ejemplo, en un horizonte de tiempo de 20 años, un kilogramo de metano puede producir un calentamiento equivalente al de 62 kg. de CO<sub>2</sub>.

<sup>1</sup> Estimado de datos de 1992-1993.

<sup>2</sup> En el caso del CO<sub>2</sub> no es posible definir una vida atmosférica específica debido a las diferentes tasas de absorción de los diferentes procesos de secuestro.

<sup>3</sup> Este se ha definido como un período de ajuste que toma en consideración el efecto indirecto del metano sobre su propia vida atmosférica.

# El aumento en las concentraciones del SF6 toma en consideración únicamente el período de 1970 a 1992. Fuente: Global Increase of SF6 Observed in the Atmosphere, M. Maiss (Inst. Umweltphys., Univ. Heidelberg, Neuenheimer Feld 366, D-69120 Heidelberg, Ger.), I. Levin, Geophys. Res. Lett., 21(7), 569-572, Apr. 1, 1994.

\* La tasa de crecimiento del CO<sub>2</sub>, el CH<sub>4</sub> y el N<sub>2</sub>O están promediados sobre la década a partir de 1984.

Fuente: Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. WMO/UNEP. 1996

### **7.3.2. ¿Cuáles son las posibles consecuencias del incremento en las concentraciones de gases de invernadero?**

A partir de la revolución industrial, las emisiones de gases de invernadero se han incrementado drásticamente debido a la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) y al cambio de uso de suelo. Esto ha provocado que sus concentraciones en la atmósfera aumenten (ver tabla), repercutiendo en la temperatura global promedio. Se calcula que en los últimos cien años ésta se ha incrementado entre 0.3 y 0.6°C, y se espera que durante el próximo siglo alcance un aumento de entre 1 y 3.5 °C con respecto a 1990, lo que representaría el mayor cambio en el clima de los últimos 10,000 años.

El nivel del mar también se ha visto afectado, subiendo entre 10 y 25 cm durante el último siglo; las proyecciones indican que pudiera aumentar entre 15 y 95 cm más para el año 2100. Las zonas climáticas, y junto con ellas los ecosistemas y las zonas agrícolas, podrían moverse entre 150 y 550 km. hacia los polos en las regiones de latitudes medias. Los bosques, desiertos y otros ecosistemas no manejados enfrentarían nuevas presiones climáticas, por lo que algunos podrían fragmentarse o decaer, mientras que algunas especies individuales podrían extinguirse.

Aunque es poco probable que la producción de alimentos se vea amenazada a nivel global, algunas regiones podrían experimentar escasez de alimentos e incluso hambre. De igual manera, los recursos hidrológicos se verían afectados al cambiar los patrones de precipitación y evaporación en el mundo, los eventos climáticos extremos y el aumento del nivel del mar podrían dañar infraestructuras, y las actividades económicas, asentamientos humanos y la salud podrían sufrir una variedad de efectos directos e indirectos.

En el caso particular de México, los estudios de vulnerabilidad ante el cambio climático demostraron que los sectores más afectados serían la agricultura, pues las zonas climáticamente aptas para el cultivo del maíz de temporal se verían reducidas, sobre todo en el norte y el centro del país, y los ecosistemas forestales, afectados en un 50%, siendo especialmente vulnerables los bosques templados (ver Tabla 24).

Cabe mencionar que México sería vulnerable además económicamente, pues al reducirse el consumo de combustibles fósiles en el mundo (como medida para reducir emisiones de gases de invernadero) se reducirían sus ingresos por exportación de petróleo.

**TABLA 24. VULNERABILIDAD DE MÉXICO ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO**

<b>Línea</b>	<b>Vulnerabilidad/Zonas más vulnerables</b>
<b>Agricultura</b>	Muy vulnerable, compitiendo con ecosistemas forestales. Las regiones identificadas como más vulnerables son el norte y el centro del país.
<b>Asentamientos humanos</b>	Regiones de mayor vulnerabilidad: Centro (Distrito Federal, Estado de México, Guanajuato, Jalisco).
<b>Desertificación</b>	El 48.21% de la superficie del país tiene altos índices de vulnerabilidad. Estados más vulnerables: Aguascalientes, Baja California, Coahuila, Jalisco, Colima, Nayarit, Querétaro, Guanajuato, Michoacán, Sonora e Hidalgo.
<b>Sequía meteorológica</b>	Aumenta hacia el norte. La erosión (lluvia) se incrementa al norte.
<b>Ecosistemas Forestales</b>	El 50% se ve afectado. Los bosques templados son muy vulnerables.
<b>Recursos hidrológicos:</b>	Las zonas más vulnerables son: La cuenca del Pánuco La cuenca del Lerma-Chapala-Santiago La Península de Baja California
<b>Industria y energía</b>	Sectores de alta vulnerabilidad: Industria petrolera Industria eléctrica Industria petroquímica
<b>Zonas costeras</b>	Zonas de mayor vulnerabilidad: Tabasco (Complejo Deltaico) Tamaulipas (Laguna Deltaica del río Bravo) Veracruz (Laguna de Alvarado, río Papaloapan) Tabasco (Complejo Deltaico Grijalva-Mezcapala-Usumacinta) Yucatán (Los Petenes) Quintana Roo (Bahía de Sian Ka'an y Chetumal)

Fuente: Estudio de País: México. Vulnerabilidad de México ante el Cambio Climático Global. Gay, C. Conde, C., Martínez, J., Betancourt, E., Aranjó, R.

### 7.3.3. Análisis de la información sobre emisiones de gases de efecto de invernadero

La información sobre emisiones de gases de invernadero se obtiene por lo general de los inventarios de cada país, desarrollados siguiendo la metodología establecida por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (PICC) y disponibles en la página de Internet de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (<http://www.unfccc.de/>). Por lo general la información sobre emisiones está expresada en toneladas de CO<sub>2</sub> (por ser el que se emite en mayor cantidad), toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente o toneladas de carbono (C). Al hablar de CO<sub>2</sub> equivalente nos referimos a una cantidad de otro gas de invernadero convertida a su equivalente en CO<sub>2</sub> por medio de su potencial de calentamiento global (por ejemplo, una tonelada de metano es igual a 21 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente). Por otra parte, una tonelada de C es igual a 3.6 toneladas de CO<sub>2</sub>.

Interpretar estos datos no es sencillo, pues las emisiones de CO<sub>2</sub> de un país reflejan una gran variedad de factores, tales como el nivel de desarrollo, la densidad poblacional, la situación

económica, los recursos naturales de los que se vale para generar energía (su dependencia de combustibles fósiles, por ejemplo), la eficiencia de su aparato productivo e incluso los patrones uso de suelo (cuando se incluyen las emisiones del sector forestal). Así por ejemplo, las emisiones del sector energético de Brasil son pequeñas por la gran capacidad de generación hidroeléctrica con que cuenta, aunque por otro lado tenga emisiones importantes debido a la deforestación, mientras que las emisiones de Rusia son hoy en día inferiores a las que tenía en 1990 debido a la crisis por la que atraviesa su economía. Para facilitar el análisis se utilizan razones como las siguientes, que se calculan sobre las emisiones que se generan al consumir combustibles fósiles:

*Emisiones de CO<sub>2</sub> por millón de dólares de Producto Interno Bruto (PIB).* Esta proporción refleja, hasta cierto punto (pues se debe tomar en cuenta también la dependencia de combustibles fósiles para generar energía), la eficiencia del aparato productivo de un país, pues significa el costo en emisiones de producir un millón de dólares de ingreso. Tenemos por ejemplo, que producir un ingreso de un millón de dólares cuesta, en términos de emisiones, unas cinco veces más en Rusia que en Japón (ver Tabla 25).

**TABLA 25. PAÍSES CON MAYORES EMISIONES TOTALES DE CARBONO (C) POR QUEMA DE COMBUSTIBLES FÓSILES, 1994.**

<i>País</i>	<i>Total de Emisiones (Millones de Ton.)</i>	<i>Emisiones por Persona (Ton.)</i>	<i>Emisiones por millón de dólares de PIB*</i>
1. Estados Unidos	1371	5.26	210
2. China	835	0.71	330
3. Rusia	455	3.08	590
4. Japón	299	2.39	110
5. Alemania	234	2.89	140
6. India	222	0.24	160
7. Reino Unido	153	2.62	150
8. Ucrania	125	2.43	600
9. Canadá	116	3.97	200
10. Italia	104	1.81	110
11. Francia	90	1.56	80
12. Polonia	89	2.31	460
13. Corea del Sur	88	1.98	200
14. México	88	0.96	140
15. África del Sur	85	2.07	680
16. Kazajstán	81	4.71	1250
17. Australia	75	4.19	230
18. Corea del Norte	67	2.90	960
19. Irán	62	1.09	270
20. Brasil	60	0.39	70

Fuente: G. Marland, R.J. Andres T. A. Boden, "Global, Regional and National CO<sub>2</sub> Emission Estimates from Fossil Fuel Burning, Cement Production and Gas Flaring: 1950-1992" (electronic database) (Oak Ridge, Tenn. Carbon Dioxide Information Analysis Center. Oak Ridge National Laboratory, 1995). World watch estimates based on *ibid.*, and on British Petroleum, BP Statistical Review of World Energy (London: Group Media & Publications, 1995). Population Reference Bureau, 1994 World Population Data Sheet (Washington, D. C.: 1994); World Bank, The World Bank Atlas 1995 (Washington, D. C.: 1995).

\*PIB medido en Purchasing Power Parity para 1993.



*Emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita.* Partiendo de la idea de que las emisiones de CO<sub>2</sub> pueden reflejar un cierto nivel de producción de bienes y servicios, (aunque no debe ignorarse la influencia que la eficiencia del aparato productivo y la dependencia de combustibles fósiles pueden tener sobre este concepto), y de que todos los seres humanos tenemos el mismo derecho a disfrutar de la atmósfera, esta razón se utiliza como un parámetro de bienestar y, en ocasiones, de equidad. Tomemos por ejemplo el caso de China, con emisiones totales de carbono que lo colocan entre los principales emisores, pero que per cápita son inferiores a una tonelada, muy lejos, por ejemplo, de las 5.26 ton. que se producen por cada estadounidense (ver tabla 7).

Es interesante también ver cómo se conjugan y se comportan estos indicadores a través del tiempo.

**Lo bueno:** La comunidad internacional ya ha respondido a este problema. En 1992, durante la Cumbre de la Tierra, se firmó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, cuyo objetivo es "estabilizar las concentraciones de gases de efecto de invernadero en la atmósfera a un nivel que evite una interferencia antropogénica peligrosa en el sistema climático". En 1997 se presentó el Protocolo de Kioto, que marca límites cuantitativos de reducción de emisiones para los países desarrollados.

**Lo malo:** Hasta la fecha no se ha logrado que los países desarrollados reduzcan sus emisiones de gases de invernadero. De hecho, la poca iniciativa de estos países para alcanzar la meta que les señalaba la Convención de bajar sus emisiones para el año 2000 al nivel que tenían en 1990 hizo necesaria la aparición del Protocolo de Kioto, con compromisos vinculantes y cuantificados.

Actualmente, en nuestro país no existen Normas Oficiales Mexicanas que regulen la emisión de gases de efecto de invernadero, aunque algunas de las existentes afectan la emisión de gases como el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno de ciertas fuentes. La COA contempla las emisiones de monóxido y bióxido de carbono, pero por el momento su reporte es voluntario.

**Lo feo:** El Protocolo de Kioto aún no ha reunido las ratificaciones necesarias para entrar en vigor, mientras que las emisiones globales de gases de invernadero siguen aumentando.

## **7.4. LAS SUSTANCIAS AGOTADORAS DE LA CAPA DE OZONO (SAOS)**

### **7.4.1 ¿Cuáles son las SAOs y en qué se utilizan?**

La capa estratosférica de ozono cumple una función vital para la existencia de vida en la Tierra al filtrar las radiaciones UV-B del sol, que al ser la fracción de las radiaciones ultravioleta que llega a la superficie, resultan perjudiciales para la salud. Mediciones del contenido de ozono en la estratosfera han demostrado que la capa de ozono ha sufrido una disminución dramática desde mediados de los años 70 debido a la proliferación de sustancias que contienen cloro como los clorofluorocarbonos (CFCs), los hidroclorofluorocarbonos (HCFCs) y algunos solventes como el tetracloruro de carbono (TET) y el metilcloroformo (MCF), y las que tienen bromo, como los halones y el bromuro de metilo (BrM).

Estos compuestos fueron creados por la mano del hombre con el fin de utilizarse en una gran variedad de aplicaciones industriales (refrigeración, aire acondicionado, producción de espuma, esterilización extinguidores, pinturas, recubrimientos, etc.) y en productos tan diversos como aerosoles y propulsores. La proliferación del uso los CFCs en los últimos sesenta años se debe en gran medida a sus excelentes propiedades químicas, pues no son tóxicos ni inflamables, y a su amplia gama de aplicaciones. Los HCFCs, junto con los perfluorocarbonos (PFCs), fueron desarrollados posteriormente como reemplazos de los CFCs, pues contribuyen en menor grado al calentamiento de la atmósfera, tienen periodos de vida mucho menores y su poder de destrucción del ozono estratosférico es mucho menor.

### **7.4.2 Cuáles son las consecuencias de la disminución de la capa de ozono?**

Aún a pesar de ciertas limitaciones (principalmente de medición) se ha podido establecer una relación inversa entre la intensidad de la radiación UV-B y la cantidad total de ozono. Se ha observado que en las partes del globo donde las reducciones de este gas son muy severas (el famoso "agujero de ozono"), se presenta también un aumento de la UV-B; es el caso, por ejemplo, de la disminución de alrededor del 15% observada en el extremo sur de Sudamérica durante los meses de octubre de los últimos 15 años a la cual se ha podido asociar un aumento promedio del 85% de UV-B.

En octubre de 1987, las concentraciones de ozono sobre la Antártida cayeron a la mitad de su nivel normal (establecido en 1957-1978), y el agujero se extendió sobre un área del tamaño de

Europa. Desde entonces, la disminución se ha acelerado y los extremos alcanzados en los últimos años incluyen:

- un valor récord de 70% de deficiencia de ozono durante varios días;
- el agujero de ozono más grande, siempre próximo a 24 millones de kilómetros cuadrados; y
- un déficit estacional de ozono total de más de 40% durante la primavera.

Hasta ahora, la disminución del ozono total ha resultado en un pequeño aumento de UV-B alcanzando la superficie terrestre, salvo la región del cinturón tropical; sin embargo, la reducción adicional del ozono podría tener graves consecuencias no solamente sobre los seres humanos, sino también sobre otras formas de vida y en la química de la troposfera (que es la región de la atmósfera que va desde la superficie hasta unos 18 km. de altura). Las cosechas y los ecosistemas acuáticos, incluyendo el plancton del océano, podrían verse dañados acarreado consecuencias imprevisibles. De igual forma, se ha estimado que una disminución constante del 1% del ozono total podría dar como resultado un aumento en los cánceres de piel sin melanoma de aproximadamente 2%.

### **7.4.3 ¿Cómo están reguladas las SAOs en México?**

La Tabla 26 resume la legislación nacional con respecto a las SAOs.

Uno de los compromisos internacionales para proteger la capa de ozono es reducir y finalmente eliminar el consumo de SAOs. En México actualmente está restringido el consumo de algunas SAOs, particularmente de los CFCs, Halones, MCF y el TET. Nuestro país estableció el calendario de eliminación de dichas SAOs para el año 2000 que se puede ver en la Tabla 27.

**TABLA 26. LEGISLACIÓN NACIONAL RESPECTO A LAS SAOS**

<b>Convenios Voluntarios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se han celebrado 12 convenios voluntarios con la industria para eliminar el uso de CFCs en aerosoles y espumas flexibles, así como para eliminar emisiones innecesarias de halones a la atmósfera y, en general, para ejecutar acciones tendientes a prevenir el deterioro del ozono.</li> </ul>
<b>Permisos de Importación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Con objeto de regular el consumo de las SAOs, la CICOPLAFEST (Comisión Intersecretarial para el Control de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas) expide permisos para su importación, incluso para la importación de la materia prima de los CFCs (el Tetracloruro de Carbono).</li> <li>Desde 1988 se reguló la importación/exportación de los CFCs, conforme al Decreto que establece la codificación y clasificación de mercancías cuya importación está sujeta a regulaciones sanitarias, fitozoosanitarias y ecológicas, publicado en el Diario Oficial de la Federación (D.O.F.) el 9 de noviembre de 1988.</li> <li>Posteriormente se consideró la conveniencia de regular el comercio de los CFCs y otras sustancias controladas por el Convenio de Viena a través de la CICOPLAFEST, dadas las características tóxicas y posibles efectos en la salud derivados del uso inadecuado de tales sustancias.</li> <li>La norma emergente NOM-EM-125-ECOL-1998, publicada en el Diario Oficial el 21 de septiembre de 1998, establece "las especificaciones de protección ambiental y la prohibición del uso de compuestos clorofluorocarbonos en la fabricación e importación de refrigeradores, refrigeradores-congeladores y congeladores electrodomésticos; enfriadores de agua, enfriadores-calentadores de agua y enfriadores-calentadores de agua para beber con o sin compartimiento refrigerador, refrigeradores para uso comercial y acondicionadores de aire tipo cuarto".</li> </ul>

Fuente: Unidad de Protección al Ozono del Instituto Nacional de Ecología.

**TABLA 27. CALENDARIO DE MÉXICO PARA LA ELIMINACIÓN DE LAS SUSTANCIAS AGOTADORAS DEL OZONO**

NOMBRE QUÍMICO	DESIGNACIÓN COMÚN	CALENDARIO DE ELIMINACIÓN
Fluorotriclorometano	CFC-11	1993 Congelar el consumo a niveles de 1989 (año base)
Difluorodictlorometano	CFC-12	
Trifluorotricloroetano	CFC-113	1994 Reducir 20%
Tetrafluorodictloroetano	CFC-114	1995 Reducir 40%
Pentafluoroctloroetano	CFC-115	1996 Reducir 60%
Clorotrifluorometano	CFC-13	1999 Reducir 85%
Bromoclorodifluorometano	Halon-1211	1997 Reducir 70%
Bromotrifluorometano	Halon-1301	1998 Reducir 80%
Tetracloruro de carbono	TET	
1,1,1 Tricloroetano (metilcloroformo)	MCF	2000 Reducir 90%
Diclorotrifluoroetano	HCFC-123	2016 Congelar consumo a niveles del 2015  2040 Eliminar el 100%
Diclorofluoroetano	HCFC-141b	
Clorodifluoroetano	HCFC-142b	
Clortetrafluoroetano	HCFC-124	
Dicloropentafluoropropano	HCFC-225ca	
Dicloropentafluoropropano	HCFC-225cb	
Clorodifluorometano	HCFC-22	
Bromuro de metilo	MBr	

Fuente: Unidad de Protección al Ozono del Instituto Nacional de Ecología

**Lo bueno:** El consumo de SAOs a nivel mundial se ha reducido efectivamente desde que entró en vigor el Protocolo de Montreal.

**Lo malo:** La larga vida atmosférica de las SAOs hace que sus efectos sean de largo plazo.

**TABLA 28. SUSTANCIAS CONTAMINANTES POR GIRO INDUSTRIAL Y MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE SUS EMISIONES**

**FABRICACIÓN DE PRODUCTOS BÁSICOS INORGÁNICOS (356006)**

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones	Método de estimación
Emisiones de SO <sub>2</sub>	Área de proceso	Emisiones al aire	Factores de emisión
Catalizador agotado de cloruro de mercurio	Manufactura de cloro	Residuo peligroso	NOM-052-ECOL-1993
VOC	Área de producción y moldeado	Emisiones al aire	Factores de emisión
Fenol	Manufactura de molde de arena	Emisiones al aire	Balace de materiales
Toluen disocianato	Reactor con o sin agitación	Emisión al aire	Balace de materiales

**FABRICACIÓN DE PINTURAS, BARNICES Y SIMILARES (352210)**

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones	Método de estimación
Disulfuro de carbono	Área de mezclado	Emisión al aire	Factores de emisión
1,4-dioxano	Área de mezclado	Emisión al aire	Factores de emisión
Metilsobutilcetona	Área de mezclado	Emisión al aire	Factores de emisión
2-etoxietanol	Área de mezclado	Emisión al aire	Factores de emisión
2,4 dinitrotolueno	Área de mezclado	Emisión al aire	Factores de emisión
2,6 dinitrotolueno	Área de mezclado	Emisión al aire	Factores de emisión
Tolueno	Área de mezclado	Emisión al aire	Factores de emisión
1,1,1,2-tetracloroetano	Área de mezclado	Emisión al aire	Factores de emisión
1,1,2,2-tetracloroetano	Área de mezclado	Emisión al aire	Factores de emisión
1,1,1-tricloroetano	Área de mezclado	Emisión al aire	Factores de emisión
1,1,2-tricloroetano	Área de mezclado	Emisión al aire	Factores de emisión
Tricloroetileno	Área de mezclado	Emisión al aire	Factores de emisión

**INDUSTRIA DE LA ELABORACIÓN DE AZÚCAR Y PRODUCTOS RESIDUALES DE LA CAÑA (311801)**

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones	Método de estimación
Metano	Digestión del bagazo	Emisión al aire	Factores de emisión
Oxidos de azufre Bióxido de carbono Monóxido de carbono Oxidos de nitrógeno	Generación de vapor	Emisión al aire	Factores de emisión y datos históricos de muestreo en fuente
Bióxido de azufre Bióxido de carbono	Purificación del guarapo	Emisión al aire	Estimación a partir de datos históricos de muestreo en fuente

**INDUSTRIA DE LAMINACIÓN, EXTRUSIÓN Y ESTIRAJE DE COBRE Y SUS ALEACIONES (372004)**

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones	Método de estimación
Arsénico Cadmio Cromo Cobalto Plomo Niquel Zinc Cobre	Laminación, extrusión, estiraje y limpieza	Agua Residual	Datos históricos de muestreo en fuente
		Residuos sólidos	Balace de materiales
Tncloretileno Percloroetileno Cloruro de metileno	Limpieza	Vapores	Factores de emisión
		Agua residual	Balace de materiales
Bióxido de carbono Monóxido de carbono Oxidos de azufre Oxidos de nitrógeno	Calentamiento	Gases de combustión	Factores de emisión y datos históricos de muestreo en fuente

**INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE COLORANTES Y PIGMENTOS (351213)**

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones	Método de estimación
<i>Producción de colorantes y pigmentos inorgánicos</i>			
Remanentes en envases, bolsas de papel, cartón y plástico Polvos de minerales y otros materiales	Preparación de materia prima, secado, mezclado y molido Oxidación y enfriamiento Clasificación de tamaños y empaque	Polvos	Cálculos de ingeniería

**PRODUCCIÓN DE COLORANTES Y PIGMENTOS ORGÁNICOS**

Remanentes en envases, bolsas de papel, cartón y plástico	Preparación de materia prima, reacción de síntesis y filtración	Residuos líquidos	Datos históricos de muestreo en fuente
Aceite lubricante gastado	Lavado, secado y empaque de sólidos	Residuos líquidos Vapores de VOCs	Datos históricos de muestreo en fuente Balance de materiales
Gases de combustión	Operaciones de combustión	Gases de combustión	Factores de emisión

**INDUSTRIA DEL CURTIDO Y ACABADO DE CUERO Y PIELES SIN DEPILAR (323001 Y 323002)**

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones	Método de estimación
Sulfuro de hidrógeno	Depilado y encalado Planta de tratamiento de agua	Gas	Factores de emisión y cálculos de ingeniería
Metales pesados	Curtido al cromo, operaciones de acabado y planta de tratamiento Teñido	Agua residual Residuos sólidos	Datos históricos de muestreo en fuente
Metil isobutil cetona Etanol Fenol	Acabados	Vapores	Balance de materiales
Dióxido de carbono Óxidos de azufre Monóxido de carbono Óxidos de nitrógeno	Calderas	Gases de combustión	Factores de emisión y datos históricos de muestreo en fuente

**INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE FERTILIZANTES (35122)**

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones	Método de estimación
Dióxido de carbono	Reactor	Gases sin reaccionar	Datos históricos de muestreo en fuente
Fenol	Tanque de estabilización	Residuos líquidos	Datos históricos de muestreo en fuente con balance de materiales
Dióxido de carbono Monóxido de carbono Óxidos de azufre Óxidos de nitrógeno	Horno	Gases de combustión	Factores de emisión

**INDUSTRIA DE LA FUNDICIÓN PRIMARIA DE HIERRO, FABRICACIÓN DE FERROALEACIONES, FABRICACIÓN DE ACERO Y FUNDICIÓN DE PIEZAS DE HIERRO Y ACERO (371004)**

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones	Método de estimación
Antraceno, Benceno, Bifenil, Fenantreno, Fenol, Naftaleno, Piridina	Producción de coque y sintezación	Vapores Agua residual	Datos históricos de muestreo en fuente
Óxidos de zinc, plomo, níquel y cromo	Preparación de minerales, fundición de hierro, fundición de acero y vaciado	Polvos Aguas residuales Residuos sólidos	Balance de materiales
Tricloroetileno	Limpieza	Vapores	Factores de emisión
Percloroetileno y Cloruro de metileno		Residuos líquidos	Balance de materiales
Sales de cromo, plomo, níquel zinc y cianuros	Decoste en baños salinos, moldura en frío, limpieza y revestimiento en caliente	Agua residual Residuos sólidos	Datos históricos de muestreo en fuente
Monóxido de carbono, Dióxido de carbono, Óxidos de azufre Óxidos de nitrógeno	Producción de coque, sinterización, fundición de hierro y fundición de acero	Gases de combustión	

**INDUSTRIA DE LA GALVANOPLASTIA EN PIEZAS METÁLICAS (381412)**

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones	Método de estimación
Percloroetileno	Desengrase	Vapores	Balance de materiales
Plomo, Plata, Níquel, Zinc, Cobre Cromatos, Dicromatos, Cianuros	Abrillantado Cromado Adonizado Estañado Galvanizado	Aguas residuales Residuos líquidos Sedimentos Electrodos	Datos históricos de muestreo en fuente
Bióxido de carbono Monóxido de carbono Óxido de azufre Óxidos nitrosos	Calderas	Gases y partículas de combustión	Factores de emisión y datos históricos de muestreo en fuente

**INDUSTRIA DE ACABADO DE HILOS Y DE FIBRAS BLANDAS (321207)**

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones	Método de estimación
Formaldehído	Baños de acabado	Agua residual Vapores	Datos históricos de muestreo en fuente Balance de materiales con cálculos de ingeniería
Bióxido de carbono Monóxido de carbono Óxidos de nitrógeno Óxidos de azufre	Generación de vapor	Gases de combustión	Factores de emisión y datos históricos de muestreo en fuente
DDT 2,4-diclorofenol Naftaleno P-diclorobenceno	Almacenamiento de productos terminados y/o operaciones de enjuague	Agua residual Vapores	Datos históricos de muestreo en fuente Balance de materiales
Zinc Cobre Mercurio Plomo Fenol	Operaciones de lavado Operaciones de enjuague	Agua residual	Datos históricos de muestreo en fuente

**INDUSTRIAS DE FABRICACIÓN DE LLANTAS Y CÁMARAS (355001)**

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones	Método de estimación
Partículas y/o neblinas de aceite	Áreas de molido y vulcanizado	Emisiones al aire	No se reportará esta emisión
Óxido de zinc Bióxido de carbono Monóxido de carbono Óxidos de azufre Óxidos de nitrógeno	Áreas de mezclado Caldera	Emisión de polvos Gases de combustión	Balance de materiales Factores de emisión

**INDUSTRIA DE FUNDICIÓN Y/O REFINACIÓN DE METALES NO FERROSOS (372001)**

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones	Método de estimación
Óxidos de nitrógeno Óxidos de azufre Monóxido de carbono Bióxido de carbono	Sinterizado, fundición y refinación	Gas de SO <sub>2</sub> de desulfuración Partículas de plomo Partículas de zinc, cadmio, cromo y cobre Gases de combustión	Factores de emisión Datos históricos de muestreo en fuente
Arsénico Plomo	Equipos de recolección de polvos	Polvos	Datos históricos de muestreo en fuente y cálculos de ingeniería
Zinc Níquel	Fundición y refinación por proceso pirometalúrgico	Esconas con arsénico, níquel, plomo, zinc, cadmio, cromo y cobre	Balance de materiales
Cadmio Cromo Cobre	Refinación de zinc por proceso hidrometalúrgico	Lodos, licor electrolítico, lixiviados, aguas residuales de lavado de electrodos	Datos históricos de muestreo en fuente y balance de materiales
Mercurio Plata Selenio	Enfriamiento directo de lingotes y piezas de fundición Equipos anticontaminantes de lavado de gases	Aguas residuales de proceso con metales como arsénico, níquel, plomo, zinc, cadmio, cromo y cobre Aguas residuales de lavado	Datos históricos de muestreo en fuente

**INDUSTRIAS DE FABRICACION DE CELULOSA Y PAPEL (341010 Y 341021)**

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones	Método de estimación
Benceno	Blanqueo	Agua residual Emisiones al aire (emisiones fugitivas)	Datos históricos de muestreo en fuente Balance de materiales
Oxidos de azufre	Digestión Horno de fundido	Emisiones al aire	Factores de emisión
Bioxido de carbono Oxidos de azufre Monóxido de carbono Oxidos de nitrógeno	Horno de fundido Horno de cal Calderas de generación de vapor	Gases de combustión	Factores de emisión y datos históricos de muestreo en fuente
Cloroformo	Blanqueo	Emisiones de vapor al aire	Balance de materiales

**INDUSTRIA DE FABRICACION DE RESINAS SINTÉTICAS Y PLASTIFICANTES (351231)**

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones	Método de estimación
Gases de combustión	Generación de vapor	Aire	Factores de emisión
VOCs Metales pesados de los catalizadores gastados	Almacenamiento Reacciones de polimerización Operaciones de lavado	Aire Agua Suelo	Factores de emisión Balance de materiales
Materia prima sin reaccionar	Sistemas de tratamiento	Aire Agua Suelo	Estimación a partir de datos históricos de muestreo en fuente y balance de materiales

**INDUSTRIA DE FABRICACION DE VIDRIO PLANO, LISO Y LABRADO (362011)**

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones	Método de estimación
Oxidos de azufre Oxidos de nitrógeno Monóxido de carbono Bioxido de carbono	Horno de fusión Horno de templado	Gases de combustión	Factores de emisión datos históricos de muestreo en fuente
Oxidos de metales pesados	Carga y descarga de materias primas	Polvos y partículas	Cálculos de ingeniería

**INDUSTRIA DE FABRICACION DE PINTURAS, BARNICES, LACAS Y SIMILARES (352210)**

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones	Método de estimación
Naftenato de cobalto Naftenato de plomo Alcanoato de zinc Alcanoato de cobalto Alcanoato de plomo Neodecanoato de cobalto Neodecanoato de plomo Octoato de cobalto Octoato de plomo Cromato de plomo Molibdato de plomo Sulfato de plomo	Descarga de los materiales, mezclado, molienda y agitación	Emisiones de vapores de VOCs Emisiones controladas de plomo por medio de cargas	Balance de materiales Cálculos de ingeniería
Oxidos de mercurio Oxidos de plomo Oxidos de zinc Oxidos de cadmio Sulfuro de cadmio Sulfoseleniuro de cadmio Fenol formaldehído Formaldehído Etanol	Operaciones de lavado	Agua de lavado con emanantes de plomo Emisión de disolventes orgánicos con remanentes y vapores de VOCs	Balance de materiales
Cloruro de metileno Metil isobutil cetona 2-nitropropano Estireno	Tratamiento de efluentes	Lodos y aguas residuales	Balance de materiales Datos históricos de muestreo en fuente
Metacrilato de metilo Oxidos de azufre Oxidos de nitrógeno Monóxido de carbono Bioxido de carbono	Calderas	Gases de combustión	Factores de emisión y datos históricos de muestreo en fuente



**INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE PLAGUICIDAS, ORGÁNICOS E INORGÁNICOS (351222)**

Sustancia	Fuente	Tipo de emisiones	Método de estimación
<u>Sólidos insolubles en agua</u> Aldrin , Captan, DDT, Clorpirifos, P Diclorobenceno	Descarga del ingrediente activo, triturado, pulverizado, mezclado, molido, empacado y almacenado	Emisión al aire de polvos y partículas	Cálculos de ingeniería
Endosulfán, Warfarna, Lindano, Endrin, Toxafeno, Heptaclo, Pentaclorofenol, Antraceno, Hexaclorobenceno	Operaciones de limpieza de los equipos	Residuos sólidos	Datos históricos de muestreo en fuente con balance de materiales
<u>Sólidos solubles en agua</u> Sales inorgánicas de cobre	Vaciado del ingrediente activo al tanque de mezclado	Emisión al aire de polvos y partículas	Datos históricos de muestreo en fuente con cálculos de ingeniería
	Operaciones de limpieza de los equipos	Aguas de lavado	Datos históricos de muestreo en fuente
	Filtrado	Lodos	Balance de materiales
<u>Líquidos volátiles</u> 2,4-Diclorofenol, 1,3-Dicloropropeno Trifluralin Etanol Cloruro de metileno Diazinon Dicloroetano 2,4-Dinitrofenol	Vaciado del ingrediente activo al tanque de mezclado, filtrado, envasado y almacenamiento	Vapores	Datos históricos de muestreo en fuente con balance de materiales
<u>Gases</u> Bióxido de carbono Monóxido de carbono Óxidos de azufre Óxidos nitrosos	Horno	Gases de combustión	Factores de emisión

Fuente: Dirección General de Gestión e Información Ambiental del Instituto Nacional de Ecología

## **PARA SABER MÁS:**

### **A) BIBLIOGRAFÍA**

*La cambiante capa de ozono.* Publicación conjunta de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. *Segundo reporte de evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.* Organización Meteorológica Mundial, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 1995.

### **B) SITIOS DE INTERNET**

<b>SITIO</b>	<b>DIRECCIÓN</b>
Aprenda internet/curso de microsoft	<a href="http://www.multiphone.net.co/aprenda.htm">http://www.multiphone.net.co/aprenda.htm</a>
Calidad del Aire Zona Metropolitana Ciudad de México	<a href="http://sima.com.mx/sima/df/">http://sima.com.mx/sima/df/</a>
CESARS (Chemical Evaluation Search and Retrieval System)	<a href="http://www.chempute.com/cesars.htm">http://www.chempute.com/cesars.htm</a>
Chemfinder	<a href="http://www.chemfinder.com/">http://www.chemfinder.com/</a>
Environmental Risk Assessment program	<a href="http://www.rem.sfu.ca/era/overview.html">http://www.rem.sfu.ca/era/overview.html</a>
Hazardous Chemical Database-The University of Akron, Department of Chemistry	<a href="http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/">http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/</a>
Indicadores para la Evaluación del Desempeño Ambiental en México	<a href="http://www.ine.gob.mx/indicadores/espanol/">http://www.ine.gob.mx/indicadores/espanol/</a>
National Library of Medicine - Hazardous Substances Data Bank	<a href="http://www.nlm.nih.gov/pubs/factsheets/hsdbfs.html">http://www.nlm.nih.gov/pubs/factsheets/hsdbfs.html</a>
National Pollutants Release Inventory (NPRI)	<a href="http://www.pwc.bc.doe.ca/ep/npri/">http://www.pwc.bc.doe.ca/ep/npri/</a>
OECD's Work on Pollutant Release and Transfer Registers (PRTRs)	<a href="http://www.oecd.org/ehs/prtr/index.htm">http://www.oecd.org/ehs/prtr/index.htm</a>
Ontario Ministry of the Environment	<a href="http://www.ene.gov.on.ca/index.htm">http://www.ene.gov.on.ca/index.htm</a>
Red TIPS-Noticias información Ambiental	<a href="http://redtips.org/tips/news/noti09.htm">http://redtips.org/tips/news/noti09.htm</a>
Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes	<a href="http://www.ine.gob.mx/retc/">http://www.ine.gob.mx/retc/</a>
Scorecard-Environmental Defense Fund	<a href="http://www.scorecard.org/chemical-profiles/index.tcl">http://www.scorecard.org/chemical-profiles/index.tcl</a>
South Coast Air Quality Management District - The clean air people	<a href="http://www.aqmd.gov/">http://www.aqmd.gov/</a>
TERA-Toxicology Excellence for Risk Assessment	<a href="http://www.tera.org/">http://www.tera.org/</a>
Toxics release inventory and right-to-know conference	<a href="http://www.rtk.net/www/triconf/tri.html">http://www.rtk.net/www/triconf/tri.html</a>
Traductor en tiempo real para internet	<a href="http://www.ncsa.es/traductor/">http://www.ncsa.es/traductor/</a>
UNEP Chemicals & Who-Geenet	<a href="http://irptc.unep.ch/">http://irptc.unep.ch/</a>
Dirección de Cambio Climático del Instituto Nacional de Ecología (INE)	<a href="http://www.ine.gob.mx/ucci/cam_clima/ccg.htm">http://www.ine.gob.mx/ucci/cam_clima/ccg.htm</a>
Unidad de Protección al Ozono del INE	<a href="http://www.ine.gob.mx/ucci/upo/inicio.html">http://www.ine.gob.mx/ucci/upo/inicio.html</a>

## ***CONTACTOS:***

- ◆ Luis Sánchez Cataño. Dirección de Gestión Ambiental del Instituto Nacional de Ecología. Email: [lsanchez@chajul.ine.gob.mx](mailto:lsanchez@chajul.ine.gob.mx)
- ◆ Hilda Martínez Salgado. Dirección de Gestión Ambiental del Instituto Nacional de Ecología. Email: [hsalgado@chajul.ine.gob.mx](mailto:hsalgado@chajul.ine.gob.mx)
- ◆ Luis Roberto Acosta. Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (SIMA). Email: [racosta@trentu.ca](mailto:racosta@trentu.ca)
- ◆ Carlos Gay García. Asesor sobre Cambio Climático y Coordinador de la Unidad de Protección al Ozono del Instituto Nacional de Ecología. Email: [cgay@cnajul.ine.gob.mx](mailto:cgay@cnajul.ine.gob.mx)
- ◆ Víctor Magaña. Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM. Email: [victor@belenos.atmosfera.unam.mx](mailto:victor@belenos.atmosfera.unam.mx) [victor@regino.atmosfcu.unam.mx](mailto:victor@regino.atmosfcu.unam.mx)
- ◆ Cecilia Conde. Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM. Email: [conde@servidor.unam.mx](mailto:conde@servidor.unam.mx)
- ◆ Juan Quintanilla. Programa Universitario de Energía de la UNAM. Email: [juquin@servidor.unam.mx](mailto:juquin@servidor.unam.mx)
- ◆ Claudia Sheimbaum. Instituto de Ingeniería de la UNAM. Email: [csp@pumas.ingen.unam.mx](mailto:csp@pumas.ingen.unam.mx)
- ◆ Francesco Castronovo. Unidad de Protección al Ozono del Instituto Nacional de Ecología. Email: [fsolana@chajul.ine.gob.mx](mailto:fsolana@chajul.ine.gob.mx)

## ***¿QUÉ PUEDO HACER?***

### **RETC**

- ✓ Promueve la inclusión de un número cada vez mayor de industrias en el Registro.
- ✓ Demanda que la información sobre emisiones y transferencias de las sustancias del RETC se publique por establecimiento industrial y no únicamente como agregado.

## **CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

- ✓ Camina siempre que puedas en lugar de utilizar tu coche.
- ✓ Siempre que te sea posible, ponle a tu automóvil gasolina premium.
- ✓ Mantén tu coche en buenas condiciones.
- ✓ Ponte de acuerdo con tus amigos y vecinos para utilizar el menor número de coches posible.

## **CAMBIO CLIMÁTICO**

- ✓ Ahorra energía eléctrica, de esa manera evitarás la emisión de gases de invernadero que se genera al producirla.
- ✓ Protege los bosques, combate la deforestación y los incendios forestales.
- ✓ Promueve el uso de energías renovables (solar, eólica, etc.).

## **PROTECCIÓN DE LA CAPA DE OZONO**

- ✓ No utilices objetos punzo-cortantes para deshielar tu refrigerador, éstos pueden dañar el sistema de tuberías que contienen al refrigerante CFC y dejarlo escapar.
- ✓ Solicita el servicio para mantenimiento o reparación de tu refrigerador a técnicos que ofrezcan recuperar el CFC con equipos o bolsas especiales para ello.
- Dale mantenimiento regular al aire acondicionado de tu automóvil, solicita regularmente a tu taller de servicio que verifique si existen fugas de refrigerante y repáralas. De esta forma no sólo protegerás la capa de ozono, sino que ahorrarás refrigerante.
- Acude preferentemente a los talleres de servicio para aires acondicionados automotrices que cuenten con equipos para recuperar el CFC.

- **No recargues tu aire acondicionado con latas desechables de refrigerante, acude a talleres especializados.**
- **Dale mantenimiento regularmente a tu equipo de aire acondicionado para prevenir fugas de refrigerante.**
- **Al comprar productos que vengan en espumas de unicel o en charolas o contenedores de alimentos, selecciona preferentemente aquellos que indiquen que no contienen CFCs o que no dañan la capa de ozono.**
- **Compra preferentemente aquellos productos que indiquen en sus etiquetas que no contienen CFCs o que no dañan la capa de ozono.**
- **Adquiere preferentemente extinguidores de fuego que no contengan halones.**
- **Aunque en la latitud de nuestro país la capa de ozono no se ha deteriorado significativamente (la reducción del ozono es de aproximadamente un 3%) es recomendable evitar exposiciones muy prolongadas al sol para evitar el riesgo de contraer cáncer en la piel o cataratas.**

## **8. ALGUNOS ASPECTOS TOXICOLÓGICOS ACERCA DE LAS SUSTANCIAS SINTÉTICAS**

Es conveniente recordar que el tipo de información ambiental objeto de la gestión ciudadana en general y del RETC en particular, es la relativa a aquellas sustancias químicas sintéticas que pueden ocasionar efectos adversos en la salud humana, en la salud de otros seres vivos y en el medio ambiente urbano y rural.

En sentido estricto, todas las sustancias son químicas, ya sea la sangre, el perfume de una flor o el agua... Hay sustancias químicas naturales que pueden causar daños a la salud, como el veneno de un alacrán. Sin embargo, las sustancias químicas de las que nos ocupamos en el presente manual, son aquellas generadas por la actividad humana, de manera voluntaria o involuntaria, especialmente en los procesos de producción industrial o agrícola. La exposición humana a ellas puede darse dentro de los hogares, en los lugares de trabajo -o exposición laboral urbana o rural-, en las escuelas, al aire libre e incluso dentro de los hospitales. Las vías -oral, dérmica, inhalación, ingestión, placentaria- de exposición y las dosis -es decir las cantidades- determinan que las sustancias químicas provoquen en las personas intoxicaciones agudas o crónicas.

Para efectos de la gestión ciudadana es importante distinguir estos dos tipos de intoxicación. En la primera, los síntomas se presentan de manera violenta e inmediata y pueden ir desde dolor de cabeza y mareo hasta la muerte. Las intoxicaciones crónicas, por el contrario, no son evidentes hasta que los daños están muy avanzados. Esta clase de intoxicaciones son una preocupación muy grande desde la perspectiva ciudadana, por que su identificación y seguimiento son difíciles de establecer. Hay muchos casos de exposición laboral en los que las personas presentan los síntomas y el cuadro de las enfermedades años después de haber sido despedidas, lo que, por ejemplo, hace prácticamente imposible la reclamación de indemnizaciones -y eso en el caso de que el dinero fuera suficiente para recuperar la salud-. Ahora bien, tratándose de población abierta, expuesta a las sustancias en el aire que respira o en el agua que toma, ¿Cómo hacer el seguimiento? ¿cómo saber qué nos enferma a través de los años? Puesto que las enfermedades responden a factores concomitantes, es decir, a un conjunto de condiciones dadas, ¿qué hacer para reducir los factores de riesgo?

Estas reflexiones nos permiten redimensionar la importancia de construir una base de datos como el RETC, que nos deberá ayudar a identificar las principales emisiones y descargas industriales para lograr su reducción, con lo que también reduciremos los riesgos de exposición. Como hemos

visto, la mayor parte de las sustancias enlistadas en el RETC se utilizan en las actividades industriales; una menor parte la constituyen algunos plaguicidas y, por último, una mínima parte la conforman sustancias que de manera no intencional se producen durante las reacciones químicas en los procesos industriales. En esta última clasificación se encuentran la pentaclorodibenzo-p-dioxina y el pentaclorodibenzofurano, que pertenecen a la familia de químicos más tóxicos que el hombre haya creado jamás y cuyo estudio se ha vuelto el centro de atención de numerosos especialistas.

### **8.1. ¿CÓMO ESTABLECER LOS RIESGOS QUE CORRE NUESTRA SALUD?**

Una disciplina que nos ayuda en el discernimiento de los daños a la salud que ocasionan los químicos sintéticos es la toxicología, que estudia la capacidad de las sustancias para causar efectos adversos en los seres vivos. Como hemos dicho, existen sustancias químicas naturales y sustancias químicas sintéticas -o xenobióticas, es decir, producidas por los humanos-. La toxicología abarca ambos grupos.

Sin embargo, a pesar de los grandes aportes que ha hecho al conocimiento de los mecanismos por los cuales los químicos nos dañan, la toxicología enfrenta serias limitaciones, en especial para los estudios de lo que sucede fuera de los laboratorios, pues dentro de estos, las variables como dosis y tiempos de exposición, entre otros factores, se controlan, de acuerdo a modelos de investigación previamente establecidos. En la realidad cotidiana, hay numerosos factores que se entrecruzan aleatoriamente.

Por ello, comprobar la capacidad toxicológica de un compuesto químico es muy difícil, en particular en las concentraciones ambientales y sobre todo en las que se requieren para inducir mutaciones, cáncer o defectos congénitos. Parte del problema radica en que en estos casos, no se puede establecer claramente la relación dosis-efecto y, por lo tanto, no es posible fijar un valor o dosis mínima capaz de provocar cualquiera de esas alteraciones. Por lo mismo, tampoco se puede establecer una dosis que sea "segura". (Albert, 1990)

Cabe preguntarnos, si el cuerpo humano ha desarrollado a lo largo de cientos de años la capacidad de defenderse de organismos patógenos y de venenos de plantas y animales, ¿por qué no puede hacer lo mismo con los tóxicos sintéticos? Lo que sucede es que las barreras biológicas que protegen a los seres humanos de la acción de los tóxicos son resultado de la evolución y del contacto del hombre con las sustancias químicas naturales; por lo tanto, no funcionan con eficacia para las sustancias sintéticas [como los plaguicidas] (Albert, 1990)

Esto se agrava porque en condiciones naturales, el daño biológico está equilibrado por la reparación biológica; sin embargo, cuando la capacidad de reparación de un organismo es rebasada por el daño que éste recibe, los efectos nocivos aparecerán eventualmente, aunque tarden varios años, o aún generaciones en manifestarse. Los mecanismos de biotransformación de las sustancias que se ingieren o se absorben también son resultado de la evolución y están diseñados para metabolizar alimentos y eliminar gases y otros productos del metabolismo. Por lo tanto, cuando el organismo está en contacto con plaguicidas o con cualquier otra sustancia sintética, el resultado más común de la activación de estos mecanismos naturales es que se formen sustancias más tóxicas que la sustancia original. (Albert, 1990)

## **8.2. ¿CUÁLES SON LOS PRINCIPALES EFECTOS EN LA SALUD?**

Entre otros, los efectos tóxicos que con mayor frecuencia preocupan a las organizaciones civiles y que de hecho se eligieron como criterios toxicológicos para seleccionar la lista de sustancias que se deben reportar al RETC, son los siguientes:

- **Persistencia ambiental**

Se relaciona con la tendencia de una sustancia química a permanecer en el ambiente, debido a su resistencia a la degradación química o biológica asociada a los procesos naturales. Una vida media corta (pocos días) generalmente no produce una acumulación significativa en el ambiente. Contrario a esto, una sustancia con una vida media mayor puede resultar en una exposición sustancial o acumulación en la cadena alimenticia.

- **Bioacumulación**

La bioacumulación describe la tendencia de ciertas sustancias a acumularse en los tejidos de los organismos vivos. La tendencia de una sustancia a bioacumularse se relaciona con las características de rechazo al agua -hidrofóbicas- o de atracción con las grasas -lipofílicas-.

- **Toxicidad**

La toxicidad se divide en siete características que incluyen los efectos letales, crónicos y subcrónicos para todos los blancos ambientales y principalmente los efectos adversos potenciales sobre la salud humana:



1. letalidad aguda
2. efectos subletales en especies no mamíferas
3. efectos subletales en plantas
4. efectos subletales en mamíferos
5. teratogenicidad
6. genotoxicidad/mutagenicidad
7. carcinogenicidad

Estos tres últimos efectos de las sustancias químicas se presentan a muy largo plazo en la población en general o en los trabajadores, o bien se manifiestan en otras generaciones. Se derivan de la exposición continua a dosis bajas de una sustancia y pueden incluir una gran variedad de alteraciones bioquímicas, fisiológicas y morfológicas. Entre los más importantes se encuentran los efectos sobre los sistemas nervioso central, hematopoyético -o de reproducción de los glóbulos rojos- y reproductor, así como la aparición de cáncer, mutaciones y malformaciones congénitas. (Albert, 1990)

### **8.3. ¿QUÉ SE ENTIENDE POR PELIGROS POTENCIALES Y RIESGOS DE CONTAMINANTES QUÍMICOS?**

Desde el punto de vista de la toxicología resulta necesario distinguir dos conceptos que pueden emplearse como sinónimos pero que no lo son: riesgo y peligro. El "riesgo" es la probabilidad de que un evento suceda; se trata de un concepto estadístico. En cambio, "peligro" es el factor que aumenta el riesgo, debido al manejo inadecuado de una sustancia. Desde esta perspectiva, puede haber una sustancia muy tóxica que no sea tan riesgosa, porque se maneja con las mayores precauciones y en cambio una muy peligrosa, como el plomo, por la inconsciencia con la que se emplea, aumentando el grado y la frecuencia de exposición de la gente y del medio ambiente a sus efectos adversos.

### **8.4. ¿CUÁLES SON LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES?**

Dentro de un universo tan amplio de sustancias químicas -aproximadamente 12 millones como hemos visto- esta pregunta es muy difícil de responder. Para efectos prácticos y en vinculación con el RETC, cabe citar la siguiente clasificación química:

I.- Sustancias acidificantes ( ej: amoniaco, óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre)

II.- Metales y metaloides (ej: cadmio, mercurio y plomo)

III.- Compuestos orgánicos (compuestos orgánicos volátiles, solventes)

3.1 No halogenados

3.1.1 Alifáticos (ej: formaldehído y metano)

3.1.2 Aromáticos (ej: benceno y tolueno)

3.2 Halogenados

3.2.1 Alifáticos (ej: clorofluorocarbonos y tricloroetano)

3.2.2 Aromáticos (ej: clorobenzenos y dioxinas)

IV.- Otras sustancias (ejemplos)

Asbestos

Oxidos de nitrógeno

Polvos

Dióxido de carbono

Monóxido de carbono

V.- Emisiones de combustión (ejemplos)

Dióxido de azufre

Compuestos volátiles orgánicos

#### **8.5. ¿QUÉ CASOS PUEDEN SER DE MAYOR INTERÉS PARA ONGS?**

Las organizaciones civiles y/o cualquier persona puede gestionar asuntos de interés individual o colectivo relativos a la exposición a sustancias químicas sintéticas. Por lo general suele tratarse de zonas habitacionales cercanas a las fuentes de emisión, pero también puede tratarse de lugares de trabajo, escuelas, hospitales e incluso parques u otros lugares de esparcimiento. Las plumas de contaminación atmosférica pueden llegar a lugares muy alejados de la fuente de emisión. Lo mismo sucede con las aguas residuales.

Hay casos de interés en el sentido de que puede tratarse de sustancias prohibidas, restringidas o que son objeto de acuerdos trinacionales (como el DDT, mercurio, clordano y bifenilos policlorados para Norteamérica) en el contexto de la CCA o internacionales (como los clorofluorocarbonos y el bromuro de metilo para los países miembros del Protocolo de Montreal), lo que otorga un respaldo y relevancia especiales a la gestión de los grupos que decidan ocuparse de esas sustancias.

Otro aspecto muy poco abordado y que ha permanecido como objeto de lucha exclusivamente sectorial, es la salud laboral, pues obrera/os y campesinas/os sufren exposiciones cotidianas a tóxicos, en ocasiones muy agresivos, en sus lugares de trabajo. Sus condiciones culturales y su gran necesidad de ingresos, los fuerzan a tolerar riesgos inaceptables.

### ***BIBLIOGRAFÍA CITADA***

- *Discurso Biológico y orden social*, Achard, Pierre et. al., Nueva Imagen, México, 1989, 339 pp.
- *Para salir del siglo XX*, Morin, Edgar, Kairós, Barcelona, 1982, 359 pp.
- *Investigación Educativa en Materia Ambiental*, Cuevas, Rosa María, Universidad Pedagógica Nacional, Baja California Sur, 1997, 484 pp.
- *Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes*, Propuesta Ejecutiva Nacional, INE, SEMARNAP, México, 1997, 162 pp.
- *Acceso Público a la Información sobre Medio Ambiente en la Frontera México-Estadounidense*, Gregory, Michael, 2a. Conferencia Anual Binacional del West Texas Regional Poison Center sobre Aspectos de Toxicología y Salud Ambiental, El paso, Texas, 1996, 15 pp.
- *\*\*\*Memorias del Taller: "Gestión Ciudadana y Derecho a la Información" dentro del Seminario Ciudadanía e Industria en la Gestión Ambiental*, ITESO, Guadalajara, Jalisco, Marzo, 1999
- *Medio Ambiente y Salud en México*, Finkelman, Jacobo, en *Medio ambiente y desarrollo en México*", Leff, Enrique, Coord., V.II, CIIH, UNAM, México, 1990, 766 pp.
- *Curso básico de toxicología ambiental*, Albert, Lilia A., Limusa Noriega, México, 1990, 311 pp.
- *Los plaguicidas, el ambiente y la salud*, Albert, Lilia A., Coordinadora, Centro de Ecodesarrollo, México, 1990, 331 pp.
- *Global Pesticide Campaigner*, varios números, publicación mensual de *Pesticide Action Network North America Regional Center*, 49 Powell Street No. 500 San Francisco, California, 94102

# GLOSARIO DE TÉRMINOS SOBRE TOXICOLOGÍA

Las siguientes definiciones fueron tomadas del libro *Los plaguicidas, el ambiente y la salud*, Albert, Lilia A., Coord., CENTRO DE ECODesarrollo, México, 1990, 331 pp.

## Tóxico.

Cualquier agente capaz de producir una respuesta adversa en un sistema biológico. Estos agentes pueden ser formas de energía como calor y radiaciones, toxinas vegetales como algunos alcaloides, o productos sintéticos (xenobióticos) como medicamentos y plaguicidas.

## Toxicidad.

Capacidad de una sustancia para causar efectos adversos en un ser vivo. Generalmente se relaciona con la *dosis letal media* (DL50) que es la dosis con la cual muere el 50% de los organismos de una población expuesta experimentalmente.

## Dosis.

Cantidad de una sustancia que se administra a un organismo o a la que está expuesto; suele expresarse en unidades de peso del agente por kilogramos de peso del organismo expuesto. Mientras más pequeña es la cantidad, más tóxica es la sustancia.

## Efectos tóxicos.

Son los cambios indeseables, de naturaleza metabólica o bioquímica, que sufre un organismo a causa de la exposición a una o varias dosis de una sustancia. Una vez que el agente y el sistema biológico han estado en contacto, se presentarán estos efectos. Con respecto al tiempo, pueden ser *inmediatos* o *mediatos* y, con respecto al sitio del organismo en que se presentan pueden ser *locales* (en piel, aparato respiratorio, etc.), *directos* (sangre), o *sistémicos*. Los efectos inmediatos que puede tener un agente tóxico en un organismo son diversos e incluyen: irritación cutánea o de las mucosas gástrica o respiratoria, efectos en el sistema nervioso central o periférico, inhibición de enzimas que intervienen en los procesos nerviosos, alteraciones en la permeabilidad de la pared celular, daño en los tejidos de los órganos internos como hígado, riñón, etc. Estos daños, así como los signos y síntomas que se presentan durante las intoxicaciones agudas, son característicos para cada grupo de compuestos.

## Toxicidad aguda.

La *toxicidad aguda* de una sustancia se relaciona con la DL50 e indica la gravedad y magnitud de los efectos tóxicos inmediatos; debe enfatizarse que la DL50 no da *ninguna* información acerca de la toxicidad a largo plazo de la sustancia.

## Toxicidad crónica.

La *toxicidad crónica* es la capacidad de una sustancia para producir efectos adversos en un organismo debido a una exposición continua o repetida a cantidades relativamente bajas de la misma, durante un periodo prolongado. Las exposiciones repetidas pueden provocar una acumulación del agente tóxico en el organismo, lo cual a su vez puede causar la aparición de efectos crónicos. Estas exposiciones también pueden causar una acumulación de daño que puede originar efectos crónicos. Entre éstos se cuentan el desarrollo de tumores, lesiones en órganos blanco, anemia aplásica, alteraciones del sistema nervioso central, etc.

## Vías de entrada.

Las vías de entrada más importantes de una sustancia a un organismo son la respiratoria, la oral y la dérmica (piel). A la naturaleza química y el estado físico de los tóxicos se deben las diferencias en la importancia relativa de cada una de estas vías para cada sustancia. En algunos casos es

importante la vía placentaria.

## Biotransformación.

Una vez que los agentes tóxicos han entrado en el organismo, éste activa diversos mecanismos de desintoxicación. Cada sustancia se distribuye de una manera característica y tiende a acumularse en un tejido determinado; por ejemplo, los plaguicidas organoclorados - como el DDT- tienden a acumularse en el tejido adiposo, en el cual permanecen durante periodos prolongados, otras sustancias pueden ligarse a las proteínas sanguíneas y depositarse en un órgano específico. Todos los mecanismos que el organismo desencadena en respuesta a la presencia de un tóxico forman parte del proceso de intoxicación y, en algunos casos, también del proceso de desintoxicación. Este último consiste en diversas reacciones bioquímicas cuyo objeto es transformar los tóxicos en compuestos que el organismo pueda eliminar con mayor facilidad.

## Eliminación.

La eliminación de las sustancias tóxicas puede realizarse por vía gástrica, a través de los sistemas hepático y biliar o a través de los riñones y, en el caso de compuestos muy volátiles, incluso a través de la respiración.

En el mejor de los casos el organismo elimina el compuesto tóxico. Puede suceder también que el tóxico no se elimine, pero que se biotransforme y disminuya su toxicidad; o bien, como sucede con frecuencia en los compuestos xenobióticos -o fabricados por el hombre-, que la toxicidad aumente después de la biotransformación.

## Mutagénesis

Es la inducción de alteraciones en el material genético de un solo gen, o en el número o estructura de los cromosomas. Cuando una sustancia con capacidad mutagénica (mutágeno) actúa sobre las células germinales (espermatozoos u óvulos) de cualquier organismo que se reproduzca sexualmente, la mutación se podrá transmitir a las generaciones posteriores. Si el mutágeno ejerce su efecto sobre las células somáticas, el efecto no se transmite a la descendencia pero sí se manifestará en el organismo expuesto, de una forma que dependerá del tipo de célula que haya sido afectada.

## Carcinogénesis

Es la inducción de un crecimiento anormal, desordenado y potencialmente ilimitado de las células de un tejido u órgano. Una característica de todos los tipos de cáncer es la invasión de tejidos no afectados. El estudio de los procesos que originan el cáncer y los factores que elevan el riesgo tienen tres etapas muy relacionadas entre sí: 1) la observación de casos de cáncer en sujetos expuestos a un determinado factor ambiental, 2) la reproducción del cáncer en animales de laboratorio expuestos al posible agente carcinogénico, y 3) los estudios epidemiológicos.

## Teratogénesis

Es la inducción de anomalías del producto en gestación que se presentan cuando una sustancia química atraviesa la membrana placentaria. A estas alteraciones comúnmente se les llama defectos congénitos y pueden presentarse de varias formas. En casos extremos, el desarrollo del producto en gestación cesa por completo, con su consecuente muerte y el aborto espontáneo. En otros casos puede producirse un retraso del crecimiento intrauterino del producto, por lo que éste no alcanzará su crecimiento y desarrollo normales, conforme a las fases de la gestación.



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM  
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

# CURSOS INSTITUCIONALES

## MONITOREO ATMOSFÉRICO

Del 15 al 19 de julio de 2002

## *APUNTES GENERALES*

CI193

Dirección General de Servicios Urbanos  
Ing. Miguel Ángel Catillo Hoil



# MONITOREO ATMOSFÉRICO

Efectos y fuentes de los contaminantes del aire.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire forma parte de la vida moderna. Es la consecuencia de la manera como se construyen nuestras ciudades, la contaminación del aire es un residuo de los métodos como se producen nuestras mercancías, las transportamos junto con nosotros y generamos la energía para calentar e iluminar los lugares donde vivimos, nos divertimos y trabajamos. La causa principal de toda la contaminación del aire es la combustión, y ésta es esencial para el hombre. Cuando ocurre la combustión perfecta o teórica, el hidrógeno y el carbono del combustible se combinan con el oxígeno del aire para producir calor, luz, dióxido de azufre y vapor de agua. Sin embargo, las impurezas del combustible, una incorrecta relación entre el combustible y el aire, o temperaturas de combustión demasiado altas o demasiado bajas son causa de la formación de productos secundarios, tales como monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, cenizas finas e hidrocarburos no quemados –todos ellos son contaminantes del aire.

Procesos naturales, como por ejemplo incendios forestales, descomposición de la vegetación, tormentas de polvo y erupciones volcánicas siempre han contaminado el aire. A pesar de que la producción mundial total de muchos de los gases y materias particuladas, reconocidos como contaminantes es mucho mayor cuando procede de fuentes naturales que cuando procede de fuentes producidas por el hombre, la distribución y dispersión globales de dichos contaminantes resultan en concentraciones promedio de un bajo valor. Mediante la precipitación, oxidación y absorción en los océanos y el suelo, la atmósfera se puede limpiar por sí sola si se le da el tiempo suficiente. Además, los contaminantes producidos por el hombre se concentran por lo general en regiones geográficas de poca extensión; por tanto, la mayor parte de la contaminación del aire la provoca el hombre. Solamente en Estados Unidos se descarga anualmente a la atmósfera más de 200 millones de toneladas de residuos gaseosos, sólidos y líquidos. En realidad, la tasa a la que se descargan los contaminantes a la atmósfera en regiones densamente pobladas, excede a veces la tasa de limpieza de la atmósfera.

## CASOS GRAVES DE CONTAMINACION DEL AIRE

Aunque ya en 1272 se observó una limitada contaminación, es sólo en años relativamente reciente que ha llegado a ser un problema serio, considerando la historia total de la humanidad. En diciembre de 1930, una región altamente



industrializada del valle del Meuse, en Bélgica, se cubrió durante 3 días de una espesa niebla, por lo que cientos de personas enfermaron y 60 murieron –más de 10 veces el número normal.

Poco después, una espesa niebla cubrió el área de Mánchester y Salford en Inglaterra durante 9 días, en enero de 1931, murieron 592 personas –lo que nuevamente representaba un considerable incremento en la tasa de mortalidad.

En 1948, en Domora, Pennsylvania, un pequeño pueblo en donde había plantas químicas y acererías se cubrió por una niebla durante 4 días, y enfermó casi la mitad de sus 14,000 habitantes. Murieron veinte personas. Diez años después, los residentes de Donora que habían estado gravemente enfermos durante aquél episodio mostraron una tasa más alta de enfermedad y morían antes que el promedio de todos los habitantes.

En 1873, una niebla cubrió Londres y causó 268 muertes por bronquitis. No fue hasta que una gran capa de niebla cubrió Londres en 1952, cuando se hizo totalmente evidente el siniestro potencial de la contaminación del aire. La niebla duró desde el 5 de diciembre hasta el 8 del mismo mes, y 10 días después se supo que el número total de muertes en la región principal de Londres sobrepasaba en 4,000 al promedio. Las estadísticas indicaron que casi todos los que habían muerto inesperadamente tenían antecedentes clínicos de bronquitis, enfisema o trastornos cardiacos, y que las personas clasificadas en la última categoría, eran las más vulnerables. Nuevamente, en enero de 1956, se produjeron 1,000 muertes más debido a una extensa niebla. Ese año, el Parlamento promulgó una Ley de Aire Puro y Gran Bretaña inició un programa para reducir la combustión de carbón bituminoso (4). Las condiciones del neblumo en los Angeles, Nueva York, Chicago y otras grandes ciudades de Estados Unidos, se comentan con frecuencia en los periódicos.

## NATURALEZA GENERAL DE LOS PROBLEMAS DE CONTAMINACION DEL AIRE.

Sólo existe una cantidad finita de aire, tierra y recursos hidráulicos y, según aumenta la población, disminuye la porción disponible para cada persona, una población creciente, combinada con un alto nivel de vida, ha llevado a una producción y concentración drásticamente intensificadas de contaminación del aire en áreas localizadas, la disponibilidad y uso de la energía es un requisito para un alto nivel de vida.

En el pasado, la industria, la agricultura y los contaminadores individuales encontraron que era más económico descargar a la atmósfera los productos de desecho que controlarlos. Por lo general, la organización o actividad que causaba la contaminación no sufría las consecuencias de la misma; del mismo modo, los



que se beneficiaban de la reducción en la contaminación del aire, por la instalación de equipos de control, no contribuían directamente al costo de dicho equipo. En años recientes, según el público se preocupa cada vez más por los problemas de contaminación ambiental, se ha llegado a considerar el aire como un elemento del dominio público. Por tanto, se considera a la contaminación del aire un problema público, que no solamente concierne a los responsables de la contaminación sino también a quienes podrían sufrir las consecuencias.

El control racional de la contaminación del aire, se apoya en cuatro suposiciones básicas.

1.- El aire es del dominio público. Tal suposición es necesaria si se ha de tratar la contaminación del aire como un problema público, concerniente no sólo a quienes causan la contaminación, sino también a quienes pudieran sufrir las consecuencias.

2.- La contaminación del aire constituye un concomitante inevitable de la vida moderna. Existe un conflicto entre las preocupaciones económicas y biológicas del hombre; en otro tiempo, no se reconoció este conflicto como tal, sólo después de que ocurrieron desastres debidos a la contaminación del aire. Se necesita establecer sistemáticamente normas y programas a fin de conservar la atmósfera para que cumpla su función biológica más esencial.

3.- Se pueden aplicar los conocimientos científicos para delinear las normas públicas. La información acerca de las fuentes y efectos de la contaminación del aire dista mucho de ser completa, y se debe trabajar mucho a fin de crear dispositivos y métodos de control. No obstante, se dispone de suficiente información para lograr reducciones considerables en los niveles de la contaminación del aire. El hombre no tiene que abandonar ni su tecnología ni su forma de vida, pero sí debe usar sus conocimientos.

4.- Los métodos para reducir la contaminación del aire no deben aumentar dicha contaminación en otros sectores del ambiente. Ciertas industrias reducen los desechos en el aire disolviéndolos en agua y vertiendo esta agua contaminada en los ríos. Por ejemplo, una proposición para reducir el dióxido de azufre emitido por plantas de energía eléctrica que consumen carbón, resulta en la formación de grandes cantidades de desechos sólidos o líquidos. Estos métodos no solucionan los problemas de contaminación del aire.

## DEFINICION Y LISTA GENERAL DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE

Antes de poder formular leyes y reglamentos que se puedan poner en vigor a fin de controlar la contaminación del aire, es necesario definir el término *contaminación del aire*. "Se han propuesto muchas definiciones. Una de ellas es la





siguiente: Se puede definir la contaminación del aire como la presencia en la atmósfera exterior de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que sean o puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas, o de la propiedad, que interfiera el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades ó la presencia en la atmósfera de uno o más contaminantes en cantidades y duración tales que sean o tiendan a ser perjudiciales a la salud o el bienestar humanos, la vida de los animales o de las plantas, o que interfiera el goce de la vida o la propiedad. Se define además, los contaminantes como polvo, vapores, niebla, líquidos, humo, otras materias particuladas, vapor, gas, sustancias olorosas, o cualquier combinación de las mismas, pero que no incluirán el vapor de agua no combinado.

Un método para definir un contaminante del aire consiste, primero en especificar la composición del aire atmosférico seco, "limpio" o "normal" , y luego clasificar todos los otros materiales o las cantidades aumentadas de dichos materiales presentes en la composición del aire atmosférico, como contaminantes, si su presencia daña a personas, plantas, animales o materiales, se muestra la composición química del aire atmosférico seco, que se encuentra usualmente en las áreas rurales y sobre el océano, lejos de las masas de terreno. EL aire atmosférico contiene también de 1 a 3 por ciento en volumen de vapor de agua, y trazas de dióxido de azufre, formaldehído, yodo, cloruro de sodio, amoniaco, monóxido de carbono, metano y un poco de polvo y polen. Ahora bien, según la definición antes presentada, el monóxido de carbono, los vapores de los hidrocarburos, o el ozono en concentración mayor de 0.04 ppm, se considerarían como contaminantes del aire.

Composición química del aire atmosférico seco.

Sustancia	Volumen (por ciento)	Concentración (ppm)
Nitrógeno	78.084 ± 0.004	780,900
Oxígeno	20.946 ± 0.002	209,400
Argón	0.934 ± 0.001	9,300
Dióxido de carbono	0.033 ± 0.001	315
Neón		18
Helio		5.2
Metano		1.2
Criptón		0.5
Hidrógeno		0.5
Xenón		0.08
Dióxido de nitrógeno		0.02
Ozono		0.01-0.04



En la actualidad, ni el dióxido de carbono ni el vapor de agua no combinado se considera como contaminante. Esta situación podría cambiar, puesto que la descarga a la atmósfera de cualesquiera de estas sustancias en cantidades cada vez mayores, podría resultar en un cambio significativo de la temperatura atmosférica global. De igual manera, ciertos olores que ahora se consideran molestias más bien que contaminantes pueden considerarse como contaminantes.

Es común expresar la cantidad de un contaminante gaseosos presente en el aire como partes por millón (ppm). Así

$$\frac{1 \text{ volumen de contaminante gaseoso}}{10^6 \text{ volúmenes de (contaminante + aire)}} = 1 \text{ ppm}$$

$$0.0001 \text{ por ciento en volumen} = 1 \text{ ppm}$$

La masa de un contaminante se expresa como microgramos de contaminante por metro cúbico de aire. La fórmula es

$$\frac{\text{Microgramos}}{\text{Metro cúbico}} = \mu \text{ g/m}^3$$

$$\frac{\mu \text{ g/m}^3}{24.5} = \text{ppm} \times \text{peso molecular} = 10^3$$

Para las condiciones de 1 atm y 0°C (273°K) la constante en el denominador se convierte en 22.41. A veces las concentraciones se expresan también en partes por billón (ppb) o partes por cien millones (ppcm)

A continuación se presenta una clasificación general de los contaminantes del aire:

1. Materia particulada o partículas.
2. Compuestos que contienen azufre.
3. Compuestos orgánicos.
4. Compuestos que contienen nitrógeno.
5. Monóxido de carbono.
6. Compuestos halogenados.
7. Compuestos radiactivos.

La materia particulada se divide frecuentemente en subclases, que incluyen polvo fino (menor de 100  $\mu\text{m}$  de diámetro), polvo grueso (más de 100  $\mu\text{m}$  de diámetro).



Los vapores son partículas formadas por condensación, sublimación o reacción química, y a veces se les designa como humo. Los vapores, humo, neblina y niebla forman una clase más amplia llamada aerosoles.

#### Clasificación general de los contaminantes gaseosos del aire.

Clase	Contaminantes primarios	Contaminantes secundarios
Compuestos que contienen azufre	SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S	SO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , MSO <sub>4</sub> <sup>a</sup>
Compuestos orgánicos	Compuestos de C1 –C2	Cetonas, aldehidos, ácidos
Compuestos que contienen nitrógeno	NO, NH <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub> MNO <sub>3</sub> <sup>a</sup>
Oxidos de carbono	CO, (CO <sub>2</sub> )	(Ninguno)
Halógeno	HCL, HF	(Ninguno)

#### LA MATERIA PARTICULADA O PARTICULAS

Partícula es un término que se emplea para describir las materias sólidas y líquidas, dispersas y arrastradas por el aire, mayores que las moléculas individuales (las moléculas miden aproximadamente  $0.0002 \mu\text{m}$  de diámetro) pero menores de  $500 \mu\text{m}$  ( $1 \mu\text{m} = 1 \text{micrón} = 10^{-4} \text{cm}$ ). Las partículas en este rango de tamaño tienen una vida media en suspensión que varía desde unos cuantos segundos hasta varios meses. Las partículas menores de  $0.1 \mu\text{m}$  experimentan movimientos brownianos aleatorios resultantes de la colisión con las moléculas individuales. Las partículas entre  $0.1$  y  $1 \mu\text{m}$  tienen velocidades de asentamiento en el aire estático que, aunque finitas, son pequeñas comparadas con las velocidades del viento. Las partículas mayores de  $1 \mu\text{m}$  tienen velocidades de asentamiento significativas, pero pequeñas. Las partículas por encima de aproximadamente  $20 \mu\text{m}$ , tienen grandes velocidades de asentamiento y se eliminan del aire por gravedad y otros procesos de inercia.

#### EFFECTOS DE LAS PARTICULAS EN EL AIRE SOBRE LA SALUD HUMANA

Las partículas, solas o en combinación con otros contaminantes representan un peligro muy grave para la salud. Los contaminantes entran principalmente al cuerpo humano por las vías respiratorias. Los daños a los órganos respiratorios pueden presentarse directamente, ya que se ha estimado que más del 50 por ciento de las partículas entre  $0.01$  y  $0.1 \mu\text{m}$  que penetran a las cavidades pulmonares se depositarán allí.



Las partículas pueden tener un efecto tóxico de una o más de las tres maneras siguientes:

1. La partícula puede ser intrínsecamente tóxica debido a sus características inherentes químicas y/o físicas.
2. La partícula puede interferir con uno o más de los mecanismos que despejan usualmente el aparato respiratorio.
3. La partícula puede actuar como un conductor a una sustancia tóxica absorbida.

Efectos observados de las partículas.

Concentración	Tiempo de medición	Efectos
60-180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media geométrica anual, con $\text{SO}_2$ y humedad	Aceleración en la corrosión de las láminas de acero y zinc
75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media anual	Norma de calidad del aire ambiente
150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Humedad relativa menor del 70 por ciento	Visibilidad reducida a 5 millas
100-150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Luz solar directa reducida en un tercio
80-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Con niveles de sulfatación de 30 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$	Puede ocurrir un aumento en la tasa de mortalidad de personas mayores de 50 años
100-130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Con $\text{SO}_2 > 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Es posible que los niños experimenten un aumento en la incidencia de las enfermedades respiratorias
200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio de 24 h y $\text{SO}_2$ 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	La morbilidad de los obreros industriales puede ser causa de un aumento en el ausentismo
260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máximo una vez en cada 24 h	Norma de calidad del aire ambiente
300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máximo de 24 h y $\text{SO}_2 > 630 \mu\text{g}/\text{m}^3$	En los pacientes con bronquitis crónica puede que se presente empeoramiento agudo de los síntomas
750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio de 24 h y $\text{SO}_2 > 715 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Puede ocurrir un número excesivo de muertes y un considerable aumento en las enfermedades

MONOXIDO DE CARBONO



El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro. Es muy estable y tiene una vida media en la atmósfera de 2 a 4 meses. Las emisiones globales del monóxido de carbono son grandes (350 millones de toneladas/año en 1968) de las que aproximadamente 20 por ciento es obra del hombre. Una tal concentración resultaría en un aumento de cerca de 0.03 ppm/año en la concentración ambiental. Este aumento no se ha observado.

#### Efectos del monóxido de carbono en la salud.

Existen muchos estudios que demuestran que las altas concentraciones de monóxido de carbono pueden causar cambios fisiológicos y patológicos y, finalmente, la muerte. El monóxido de carbono es un veneno que inhalado priva a los tejidos del cuerpo del oxígeno necesario.

Desde hace mucho tiempo se sabe que el monóxido de carbono puede causar la muerte cuando se encuentra expuesto a una alta concentración (>750 ppm). La combinación del monóxido de carbono conduce a la formación de carboxihemoglobina COHb; la combinación del oxígeno y la hemoglobina produce la oxihemoglobina O<sub>2</sub>Hb. La hemoglobina tiene una afinidad por el CO que es aproximadamente 210 veces su afinidad por el oxígeno.

La cantidad de COHb es una función de la concentración de CO en el aire respirado. Afortunadamente, la formación del COHb en el torrente sanguíneo es un proceso reversible. Cuando cesa la exposición, el CO que se combinó con la hemoglobina es liberado espontáneamente, y la sangre queda libre de la mitad de su monóxido de carbono, en pacientes saludables y en un periodo de 3 a 4 horas (18). Se mantiene en la sangre un nivel normal de COHb de 0.4 por ciento, por el CO producido dentro del cuerpo, independientemente de las fuentes externas.

Se considera 100 ppm como el límite superior de seguridad en la industria para individuos saludables dentro de ciertos rangos de edad, y para una exposición de 8 horas. A 100 ppm, la mayoría de las personas experimentan mareos, dolores de cabeza y cansancio. En términos de la exposición al CO, se debe notar que el humo de cigarro contiene de 400 a 450 ppm de CO. El porcentaje de COHb en la sangre de los fumadores de cigarrillos aumenta con el número de cigarrillos fumados al día.

#### Efectos sobre la salud del monóxido de carbono y el COHb.

##### Monóxido de carbono

Condiciones ambientales	Efectos
9 ppm con 8 h de exposición	Norma sobre la calidad del aire ambiente
50 ppm con 6 semanas de exposición	Cambios estructurales den el corazón y



	cerebro de los animales
50 ppm con 50 min de exposición	Cambios en el umbral de luminosidad relativa y la agudeza visual
50 ppm con exposición de 8 a 12 h para los no fumadores	Impedimento en el funcionamiento de las pruebas psicomotoras

#### Carboxihemoglobina

Nivel de COHb (por ciento)	Efectos
> 1.0	No hay efectos aparentes
1.0-2.0	Hay alguna evidencia de efecto sobre la conducta
2.0-5.0	Efectos sobre el sistema nervioso central. Efectos en el discernimiento de los intervalos de tiempo, agudeza visual, discernimiento de la luminosidad, y de algunas otras funciones psicomotoras.
> 5.0	Cambios funcionales cardiacos y pulmonares
10.0-80.0	Dolores de cabeza, fatiga, somnolencia, coma, fallas respiratorias, muerte

#### OXIDOS DE AZUFRE.

El dióxido de azufre y trióxido de azufre son los óxidos denominados del azufre presentes en la atmósfera. El  $\text{SO}_2$  es un gas incoloro, no flamable y no explosivo que produce una sensación gustatoria a concentraciones de 0.3 a 1.0 ppm en el aire. A concentraciones mayores de 3.0 ppm, el gas tiene un olor acre e irritable. El dióxido de azufre se convierte parcialmente a trióxido de azufre o ácido sulfúrico y a sus sales mediante procesos fotoquímicos o catalíticos en la atmósfera. El trióxido de azufre forma ácido sulfúrico con la humedad del aire. Los óxidos de azufre en combinación con las partículas y la humedad del aire producen los efectos más perjudiciales atribuidos a la contaminación atmosférica del aire. Por desgracia, ha resultado difícil aislar los efectos de sólo el dióxido de azufre.

#### Efectos sobre la salud.

Ningún otro contaminante ha sido tan intensamente estudiado como los óxidos de azufre; no obstante, son muchas las preguntas que quedan sin respuesta concernientes a los efectos del dióxido de azufre sobre la salud. Como los óxidos de azufre tienden a presentarse en los mismos tipos de atmósfera contaminada con partículas y la alta humedad relativa, pocos estudios epidemiológicos han sido capaces de diferenciar adecuadamente los efectos de los contaminantes.



Varias especies de animales, incluyendo al hombre, reaccionan con broncoconstricción ante el  $\text{SO}_2$ ; este efecto sobre los bronquios se puede evaluar en términos de un ligero aumento en la resistencia en el conducto de aire. La mayoría de los individuos mostrarán una reacción al  $\text{SO}_2$  a concentraciones de 5 ppm o mayores, y algunos individuos sensibles muestran ligeros efectos a 1 o 2 ppm. El ácido sulfúrico es un irritante mucho más potente para el hombre que el dióxido de azufre; por tanto, la mayoría de los estudios tratan de materiales sulfurosos combinados más bien que con sólo el  $\text{SO}_2$ .

Efectos del  $\text{SO}_2$  a diversas concentraciones.

Concentración	Efectos
0.03 ppm, promedio anual	Normas para la calidad del aire de 1974, lesiones crónicas en plantas
0.037-0.092 ppm	Puede haber, acompañadas por partículas a una concentración de $185 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , un aumento en la frecuencia de síntomas respiratorios y enfermedades pulmonares
0.11-0.19 ppm, media en 24 h	Con un bajo nivel de partículas puede haber un aumento en la admisión de personas de edad mayor en los hospitales, debido a trastornos respiratorios. Aumento en la tasa de corrosión de los metales
0.19 ppm, media en 24 h	Puede haber un aumento en la mortalidad con bajos niveles de partículas
0.25 ppm, media en 24 h	Puede haber un aumento en la tasa diaria de mortalidad, acompañado por partículas a una concentración de $750 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (datos de fuentes británicas); una marcada elevación en la tasa de morbilidad
0.3 ppm, 8 h	Algunos árboles muestran lesiones
0.52 ppm, promedio en 24 h	Puede haber un aumento en la mortalidad, acompañado por la presencia de partículas; puede ocurrir aumento en tasa de mortalidad



## EFFECTOS DE LOS HIDROCARBUROS, OXIDOS DE NITROGENO, OXIDANTES FOTOQUIMICOS, ASBESTOS Y METALES, SOBRE LOS MATERIALES Y LA SALUD.

### Hydrocarburos.

Los hidrocarburos no parecen causar ningún daño apreciable por la corrosión en los materiales. Las partículas o el hollín procedente de hidrocarburos no quemados, ensucian las superficies. De todos los hidrocarburos, sólo el etileno tiene efectos adversos sobre las plantas ante concentraciones ambientales conocidas. El efecto principal del etileno es inhibir el crecimiento de las plantas.

Las propiedades carcinogénicas de ciertas clases de hidrocarburos sí indican que ciertas formas de cáncer parecen causadas por la exposición de hidrocarburos aromáticos que se encuentran en el hollín y los alquitranes. Los hidrocarburos no quemados, en combinación con los óxidos de nitrógeno y en presencia de la luz solar, forman oxidantes fotoquímicos, componentes del neblumo fotoquímico, los que tienen efectos adversos en la salud del hombre y de las plantas.

### Óxidos de nitrógeno.

De los seis o siete óxidos de nitrógeno, el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) son importantes contaminantes del aire. A pesar de que el N<sub>2</sub>O está por lo general presente en la baja atmósfera (formado por acción biológica en la superficie del terreno) no se considera como contaminante del aire.

El dióxido de nitrógeno actúa como un fuerte irritante y a iguales concentraciones es más dañino que el NO. Sin embargo, a concentraciones encontradas en la atmósfera, el NO<sub>2</sub> es sólo potencialmente irritante y potencialmente relacionado con la fibrosis pulmonar crónica. Se ha observado algún aumento en la bronquitis de los niños (de 2 a 3 años de edad) a concentraciones por debajo de 0.01 ppm. En combinación con hidrocarburos no quemados, los óxidos de nitrógeno reaccionan con la luz solar y forman el neblumo fotoquímico.

### Oxidantes fotoquímicos.

Los agentes fotoquímicos, ozono (O<sub>3</sub>), nitrato de peróxiacetilo (NPA), nitrato de peroxibencilo (NPB), y otras trazas de sustancias que pueden oxidar el ion yoduro del yoduro de potasio, se conocen como oxidantes fotoquímicos. El ozono y el NPA están presentes en las más altas concentraciones, y los efectos perjudiciales del neblumo fotoquímico se relacionan por lo general con la concentración de dichas especies. Los aerosoles formados durante las reacciones químicas que crean el neblumo causan una notable reducción de la visibilidad, y dan a la atmósfera un matiz parduzco. El ozono ataca al hule sintético, con lo que reduce la vida de las llantas, el asilamiento de hule, etc. Se pueden colocar inhibidores del





ozono dentro de los productos de hule. También ataca la celulosa de los textiles, reduciendo la resistencia de dichos artículos. Todos los oxidantes decoloran las telas. Los oxidantes, principalmente el NPA y NPB, causan severa irritación en los ojos, y en combinación con el ozono irritan la nariz y la garganta, producen constricción del pecho, y a concentraciones altas (3,900  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) producen fuertes e incapacidad de meditación.

#### Efectos sobre la salud debido al ozono y los oxidantes fotoquímicos

Concentración			Ozono
(ppm)	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Exposición	Efectos
0.02	40	1 hora	Grietas en el hule estirado
0.03	60	8 horas	Daños en la vegetación
0.10	200	1 hora	Aumento en la resistencia a la respiración
0.30	590	Horas continuas de trabajo	Irritación en la nariz y la garganta, constricción al pecho.
2.00	3,900	2 horas	Tos violenta

Concentración			Oxidantes fotoquímicos
(ppm)	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Exposición	Efectos
0.05	100	4 hora	Daños a la vegetación
0.10	200	8 horas	Irritación a los ojos
0.13	250	Máximo de 1 h diaria	Agravación de las enfermedades respiratorias
0.03		1 hora	Impedimentos en el rendimiento de los atletas
0.08	160	Máximo de 1 h	Normas para la calidad del aire

#### Asbestos y metales.

Muchos estudios han mostrado una incidencia mayor de la esperada del cáncer bronquial entre individuos cuyas ocupaciones los exponen al asbesto. Además, el asbesto ha sido identificado como un factor causal en el desarrollo del cáncer en las membranas que revisten el pecho y el abdomen. El berilio ha demostrado también ser peligroso para la salud, al producir efectos letales de inhalación tanto agudos como crónicos, así como ser causa de daños a piel y ojos. La mayoría de los casos conciernen a una exposición ocupacional. La exposición a los vapores metálicos del mercurio causa daños al sistema nervioso central y a los riñones. Además, el mercurio se puede acumular en el sistema corporal y dañar el cerebro.

Entre los gases tóxicos a la vegetación y que se encuentran con mayor frecuencia, están el dióxido de azufre, ozono, NPA, fluoruro de hidrógeno, etileno, cloruro de hidrógeno, cloro, sulfato de hidrógeno.



#### Dióxido de azufre.

El efecto sobre las hojas por el exceso de  $\text{SO}_2$  en la atmósfera aparece como una lesión celular en el área esponjosa del parénquima en el mesófilo, seguido por lesiones en la región de palizada. Durante el ataque inicial la hoja aparece empapada de agua. Al secarse aparece un color blanquisco o de marfil en las áreas afectadas.

#### Ozono.

Los efectos del ozono en la vegetación se observaron por primera vez a fines de la década de los años cincuenta, ataca primero la región de la empalizada en el mesófilo. La estructura de la célula falla y aparece una pigmentación punteada, color pardo rojizo en la superficie superior.

Las puntas de las agujas de las coníferas se vuelven pardas y necróticas. Las espinacas, los frijoles pintos, los tomates y los pinos blancos son especialmente sensibles.

#### NPA.

El nitrato de peroxiacetilo, ataca las células del parénquima esponjoso que rodean el espacio de aire en el que se abren los estomas. El principal efecto visible es el plateado o bronceado del área inferior de la hoja.

#### Fluoruro de hidrógeno.

Los fluoruros se comportan como venenos acumulativos para las plantas aún cuando estén expuestas a concentraciones extremadamente bajas, las plantas acumularán una cantidad suficiente para dañar al tejido de las hojas. El efecto más inmediato será la aparición de quemaduras en la punta y el borde.

#### Etileno.

Entre los hidrocarburos más comunes, el etileno parece ser el único que causa daños a las plantas a niveles ambientales conocidos. Las concentraciones de etileno de 0.001 a 0.005 ppm han causado daños a las plantas sensibles. Los efectos del etileno incluyen la caída de las flores y alteraciones en la apertura apropiada de la hoja. Se han establecido los daños a la orquídea y el algodón. Se ha reportado como pauta un umbral de daño de 0.05 ppm para una exposición de 6 horas.



## ORIGENES DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE

Una vez que se hayan estudiado cuidadosamente algunas sustancias seleccionadas y que se haya declarado como contaminantes del aire, es de interés inmediato conocer las principales fuentes de dichas sustancias. Las partículas sólidas que existen en la atmósfera son generadas por la combustión de combustibles tales como el carbón y el combustible en hornos estacionarios y de la gasolina, aceite diesel y combustible para motores de turbina en fuentes móviles. Los procesos de fabricación como el molido, fundición, trituración y molienda de granos también contribuyen a la contaminación del aire. La principal fuente de los óxidos de azufre proviene del consumo de combustibles que contengan azufre. Sin embargo, algunos compuestos de azufre son liberados a la atmósfera durante el procesamiento de minerales y de los procesos de fabricación que utilicen ácido sulfúrico.

El monóxido de carbono es generado principalmente por la combustión incompleta de los combustibles carbonáceos en motores de automóviles y unidades de calefacción. Los hidrocarburos no quemados son el resultado de la combustión incompleta de los combustibles y durante la refinación del petróleo. Una porción relativamente pequeña proviene de otras operaciones como la limpieza en seco, la evaporación de capas industriales y la limpieza de las piezas manufacturadas. Los óxidos de nitrógeno se forman en un proceso de combustión cuando el nitrógeno del aire o en el combustible se combina con el oxígeno a elevadas temperaturas. Una muy pequeña cantidad de los óxidos es liberada en las plantas que emplean o fabrican ácido nítrico.

## PARTICULAS.

A pesar de que las partículas representan sólo el 9 por ciento de la masa total de los contaminantes del aire producidos por el hombre, para 1973, el riesgo potencial de este tipo de contaminantes es mucho mayor. Las partículas presentan un riesgo para los pulmones; incrementan las reacciones químicas en la atmósfera; reducen la visibilidad; aumentan la posibilidad de la precipitación, la niebla y las nubes; reducen la radiación solar, con los cambios en la temperatura ambiental y en las tasas biológicas de crecimiento de las plantas; y ensucia las materias del suelo. La magnitud del problema en cada una de las áreas anteriores es una función del rango del tamaño de las partículas y las composiciones química y física de las partículas.



Definición de los términos que describen las partículas suspendidas en el aire.

Partículas	Cualquier material, excepto agua no combinada, que existe en estado sólido o líquido en la atmósfera o en una corriente de gas en condiciones normales.
Aerosol	Una dispersión de partículas microscópicas, sólidas o líquidas, en medios gaseosos.
Polvo	Partículas sólidas de un tamaño de un tamaño mayor que el coloidal, capaces de estar en suspensión temporal en el aire.
Ceniza fina	Partículas de ceniza finamente divididas arrastradas por el gas de la combustión. Las partículas pueden contener combustible no quemado.
Niebla	Aerosol visible.
Vapores	Partículas formadas por condensación, sublimación, o reacción química, predominantemente mayores de $1 \mu\text{m}$ (humo o tabaco).
Neblina	Dispersión de pequeñas gotas de líquido de suficiente tamaño como para caer desde el aire.
Partícula	Masa discreta de materia sólida o líquida.
Humo	Partículas pequeñas arrastradas por los gases, que resultan de la combustión
Hollín	Una aglomeración de partículas de carbón.

Las velocidades de asentamiento de las partículas con una densidad de  $1 \text{ g/cm}^3$  son:

$0.1 \mu\text{m}$	$4 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$
$1 \mu\text{m}$	$4 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$
$10 \mu\text{m}$	$0.3 \text{ cm/s}$
$100 \mu\text{m}$	$30 \text{ cm/s}$

**Resumen y control de los procesos industriales.**



<b>Industria o proceso</b>	<b>Fuente de las emisiones</b>	<b>Partículas</b>	<b>Método de control</b>
<b>Fábricas de hierro y acero</b>	Altos hornos, hornos para la producción del acero, máquinas de sinterización	Oxido de hierro, polvo, humo	Ciclones, casas de bolsas, precipitadores electrostáticos, colectores húmedos
<b>Fundiciones de hierro gris</b>	Hornos de cubilote, sistemas de vibración, fabricación de núcleos	Oxido de hierro, humo, polvo aceitoso, vapores metálicos	Lavadores, colectores centrífugos secos
<b>Metalurgia no ferrosa</b>	Fundiciones y hornos	Humo, vapores metálicos grasa	Precipitadores electrostáticos, filtros de tela
<b>Refinerías, de petróleo</b>	Regeneradores de catalizador incineradores de lodos	Polvo del catalizador, ceniza de los lodos.	Ciclones, precipitadores electrostáticos, lavadores, casas de bolsas
<b>Cemento Portland</b>	Hornos, secadores, sistema de manejo de materiales	Polvos de procesos y alcalinos	Filtros de tela, precipitadores electrostáticos, colectores mecánicos
<b>Fábrica de papel Kraft</b>	Hornos de recuperación, hornos de cal, tanques de beneficio	Polvos de origen químico	Precipitadores electrostáticos, lavadores venturi
<b>Manufactura de ácidos-fosfórico, sulfúrico</b>	Procesos térmicos, acidulación de las rocas, molienda	Neblina ácida, polvos	Precipitadores electrostáticos, eliminadores de malla para la neblina
<b>Manufactura de coque</b>	Operación de las estufas manejo de los materiales- a templar	Polvos de carbón y de coque, alquitranes del carbón	Diseño cuidadoso, operación y mantenimiento
<b>Vidrio y fibra de vidrio</b>	Hornos, formación y curado, manejo	Neblina ácida, óxidos alcalinos, polvo, aerosoles.	Filtros de tela, incineradores

limpieza de los gases y de chimeneas altas de descarga a fin de reducir las emisiones y dispersar y diluir las sustancias perjudiciales a concentraciones tolerables a nivel del suelo, cuando el control del proceso y del sistema sea efectivo en evitar la formación, y descarga de los contaminantes al aire:



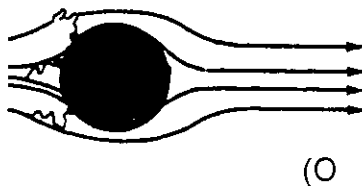
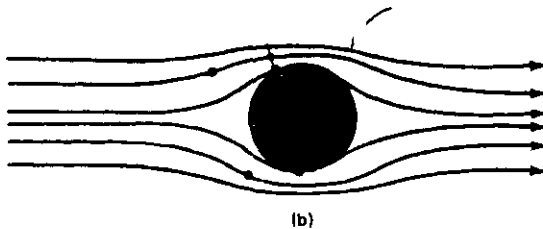
1. Limpieza de los gases
2. **Reubicación de la fuente**
3. Sustitución del combustible.
4. Cambios en el proceso.
5. Práctica operatoria buena.
6. Clausura de la fuente.
7. Dispersión.

Antes de establecer métodos adecuados para controlar la contaminación del aire, se deberán encontrar las respuestas pertinentes a las siguientes preguntas:

1. ¿El contaminante atmosférico constituye, de hecho, una consecuencia necesaria de la operación?
2. ¿Se podrá reducir la tasa de generación de los contaminantes y se podrán evitar fuertes estallidos de descarga?
3. ¿Se presta el proceso, en sí al control, por medio de equipos de ventilación locales para la extracción, como por ejemplo, las campanas de extracción?



La partícula hace contacto con el elemento. \ / - Convergen las líneas de flujo



Tres mecanismos para la eliminación mecánica de las partículas:  
a) impactación por inercia; b) intercepción directa, c) difusión.



## **MECANISMOS DE COLECCIÓN DE LAS PARTICULAS.**

Los seis mecanismos de disponibles para la colección de las partículas se pueden clasificar como de sedimentación por gravedad, impactación centrífuga, impatación por inercia, intercepción directa, difusión y los efectos electrostáticos. Uno o más de estos mecanismos son responsables de la remoción de las partículas en cualquiera de los dispositivos industriales de colección.

## **EQUIPO DE CONTROL DE PARTICULAS**

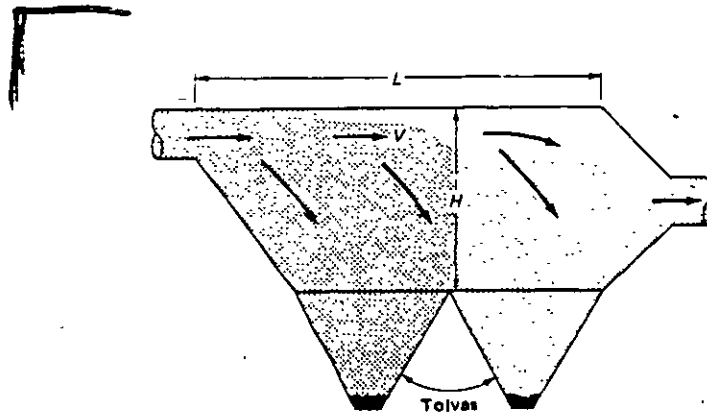
Es necesario determinar cierto número de factores antes de poder hacer una apropiada selección del equipo de colección. Entre los datos requeridos más importantes se encuentran los siguientes: las propiedades físicas y químicas de las partículas; el intervalo de la tasa de flujo volumétrico de la corriente del gas; el intervalo de las concentraciones de partículas que se podrían esperar (cargas de polvo); la temperatura y presión de la corriente de flujo; la humedad; la naturaleza de la fase gaseosa como por ejemplo las características corrosivas de solubilidad); y la condición requerida por el efluente tratado.

Se presentan las cinco clases básicas de equipos de colección de partículas.

1. Cámaras de sedimentación por gravedad.
2. Separadores ciclónicos (centrífugos).
3. Colectores húmedos.
4. Filtros de tela.
5. Precipitadores electrostáticos.

### **Cámara de sedimentación por gravedad**

Se puede emplear la fuerza gravitacional para remover las partículas en cámaras de sedimentación cuando la velocidad de sedimentación sea mayor de aproximadamente 25 pies/min (13 cm/s). En general, esto se aplica a partículas mayores de 50  $\mu\text{m}$ , si la partícula tiene una baja densidad, y tan bajas como 10  $\mu\text{m}$  si el material es razonablemente denso. Partículas todavía más pequeñas requerirían excesivas distancias de flujo, lo que llevaría a volúmenes excesivos de las cámaras.



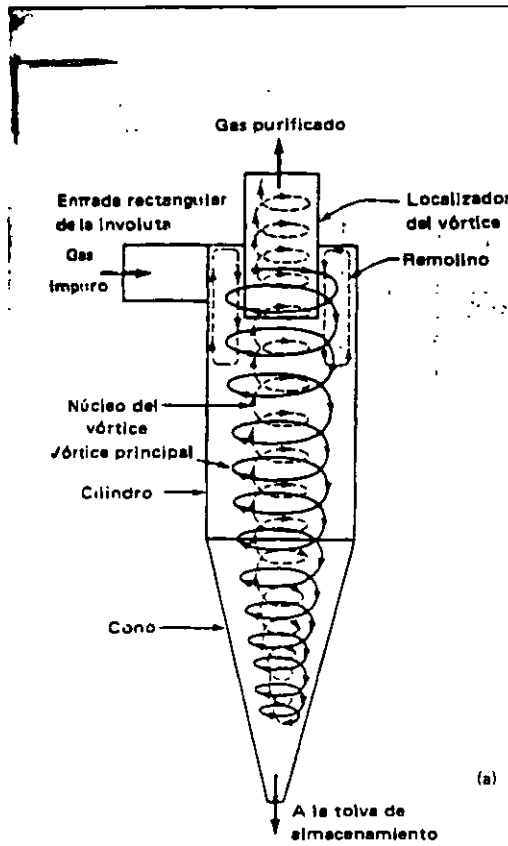
Una cámara de sedimentación por gravedad.

Separadores ciclónicos.

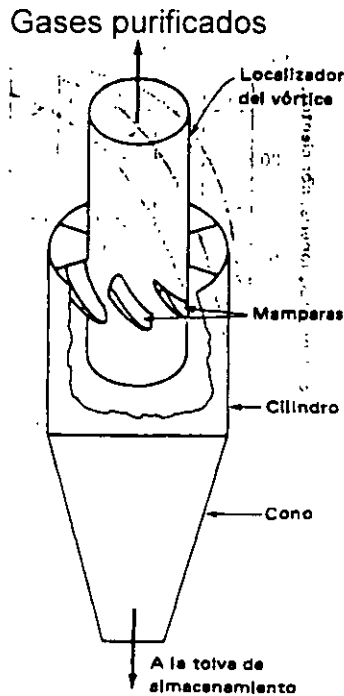
Los separadores ciclónicos son dispositivos purificadores del gas que emplean una fuerza centrífuga generada; haciendo girar una corriente de gas con el fin de separar las partículas (sólidas o líquidas) del gas que las transporta. La unidad separadora puede ser una sola cámara grande, unas cuantas cámaras tubulares, en paralelo o en serie, o una unidad dinámica similar a un soplador. Las unidades en paralelo suministran un aumento en la capacidad volumétrica, mientras que las unidades en serie proporcionan un aumento en la eficiencia de remoción.

El separador ciclónico se utiliza para eliminar partículas con tamaño de 10  $\mu\text{m}$  o mayor. No obstante, los ciclones convencionales rara vez remueven partículas con una eficiencia mayor del 90 por ciento, a menos que la partícula tenga un diámetro de 25  $\mu\text{m}$  o mayor. Existen ciclones de alta eficiencia, que son efectivos hasta con partículas de 5  $\mu\text{m}$ . No importa cuál sea el diseño, la eficiencia fraccionaria de remoción de cualquier ciclón cae rápidamente más allá de un cierto tamaño de la partícula.



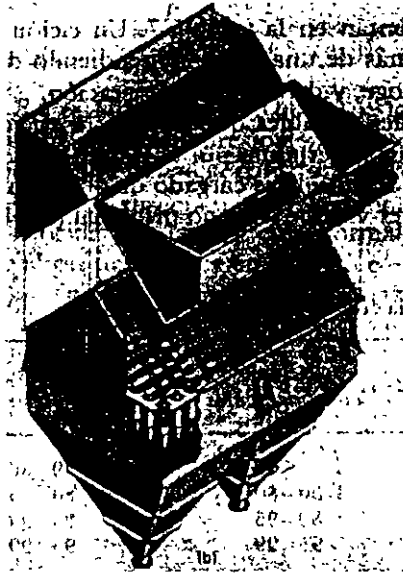


Separador ciclónico de Involuta





### Separador centrífugo de mamparas axiales (ciclónico)



Dibujos de los separadores ciclónicos, b) Separadores ciclónicos de tubos múltiples. (Cortesía de Research-Cottrell, Inc., Bound Brook, N.J.)

### *Lavadores de cámara de aspersión*

Uno de los dispositivos más simples para la colección húmeda de partículas es la torre de aspersión, circular o rectangular. El gas contaminado fluye hacia arriba y las partículas chocan con las gotas del líquido producidas por boquillas apropiadas situadas a través del paso del flujo. Si la tasa de flujo del gas es relativamente baja, las gotas del líquido contaminado se sedimentarán por gravedad hacia el fondo de la torre. En general, coloca un eliminador de neblina en la parte superior de la torre para eliminar tanto el exceso de gotas de agua limpia como de gotas de agua sucia, las que son muy pequeñas y, por tanto, las arrastra el flujo ascendente del gas. En vez del tipo de flujos opuestos, que se acaba de describir, existe un diseño alternativo del tipo de flujo cruzado. El agua se aspersiona desde lo alto de la cámara, y el gas contaminado fluye horizontalmente a través de la cámara. La partícula es capturada por choque de inercia o difusión, y las gotas mayores resultantes, caen al fondo por sedimentación gravitacional.



Aire purificado

Eliminador de  
neblina

Salida  
del agua

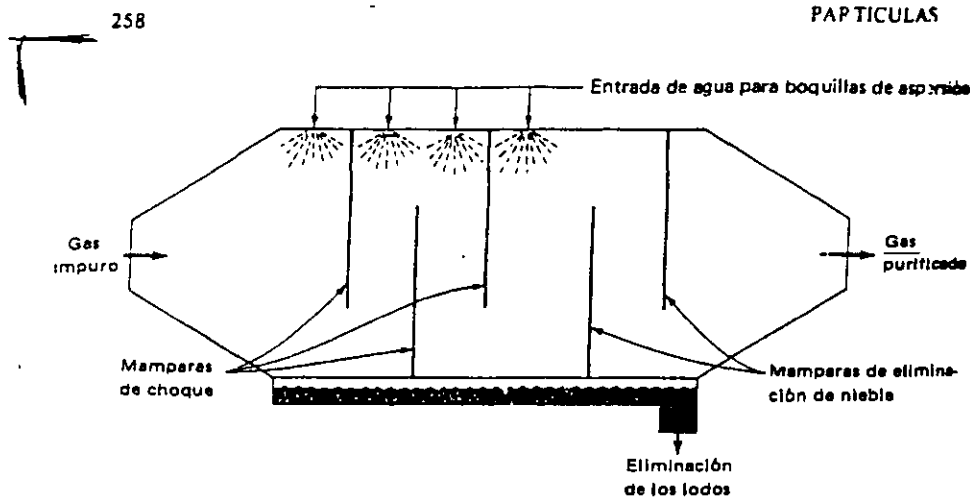
Aspersor de  
agua



Gas  
impuro-

Entrada  
del agua

Croquis de un lavador de torre por aspersion.

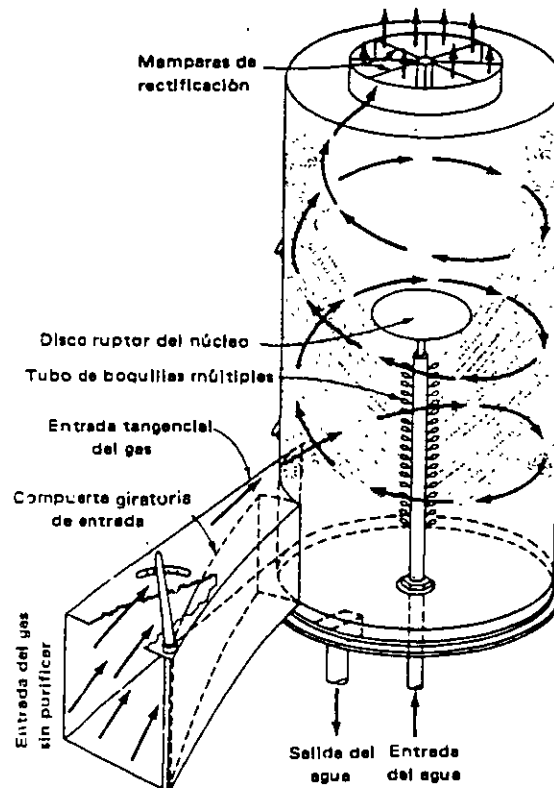


Esquema de un lavador de placas de choque húmedas.

#### *Lavadores ciclónicos (ciclones húmedos)*

El tipo más simple de lavadores ciclónicos se obtiene insertando bancos de boquillas en forma de anillo dentro de un ciclón seco convencional. El aspersor actúa sobre las partículas en el vórtice exterior, y las partículas del líquido, cargadas de polvo son lanzadas hacia fuera contra la pared interna húmeda del ciclón. La solución cargada de polvo fluye por las paredes hasta el fondo, donde es retirada. El aspersor de agua se puede colocar también a la entrada del ciclón. Se requiere usualmente de un eliminador de neblina a la salida.

Gas purificado



Torre de aspersión ciclónica. (FUENTE: Air Pollution Manual. Part.— II "Control Equipment". Detroit, Mich.: American Industrial Hygiene Assoc., 1968.)

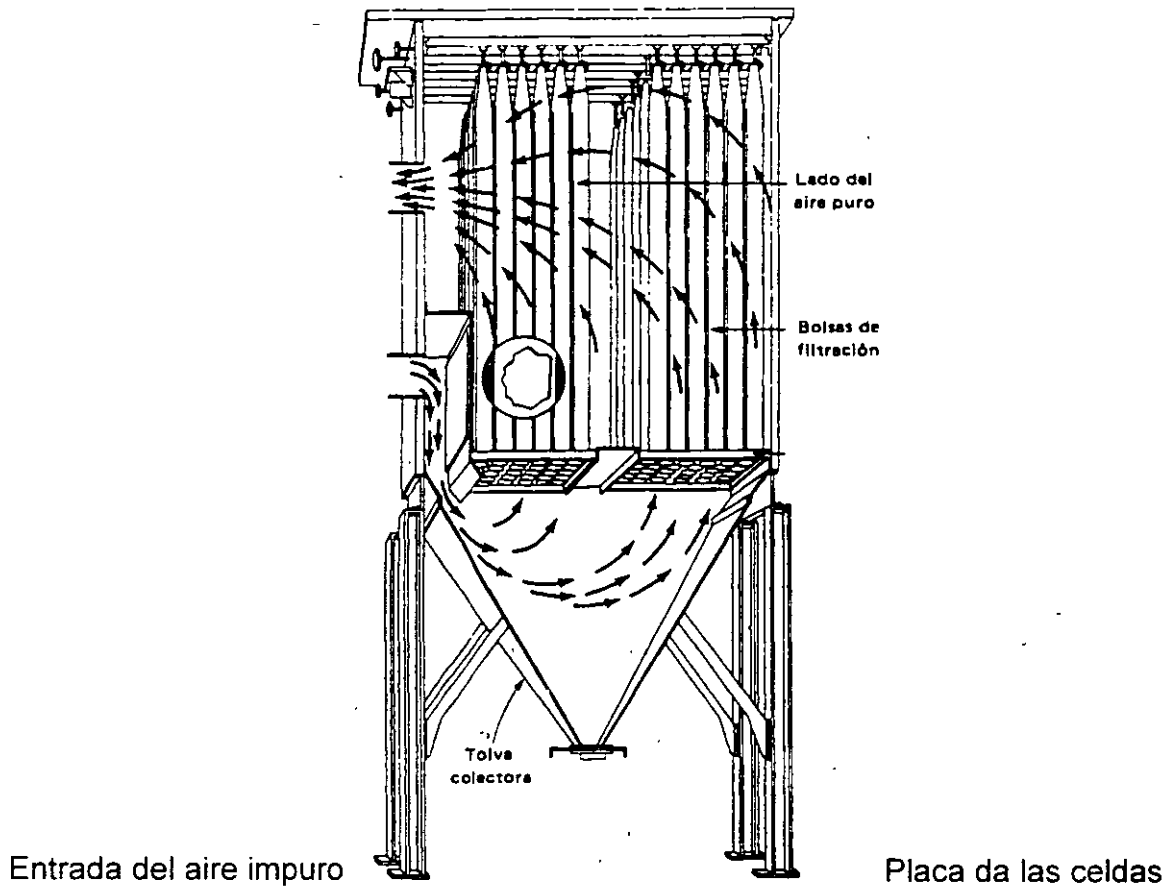
### Filtros de tela.

La filtración es uno de los métodos más antiguos y de uso más generalizado para la separación de partículas del gas que lo transporta. En general, un filtro es cualquier estructura porosa compuesta de material granular o fibroso que tiende a retener las partículas según pasa el gas que lo arrastra, a través de los espacios vacíos del filtro. El filtro se construye con cualquier material compatible con el gas y las partículas, y se puede disponer en lechos profundos, colchones, o telas. Los filtros de colchones y lechos profundos tienen grandes espacios vacíos que llegan de 97 a 99 por ciento del volumen total. Se utilizan para cargas de polvo muy ligeras y están diseñadas para permanecer en servicio durante largos períodos

Una de las desventajas de los filtros de tela es la necesidad de limpiarlos frecuencia a fin de evitar caídas; de presión irrazonables, de aquí resulta que el diseño básico de los filtros industriales, se basa, por lo general, en unas condiciones, geométricas que se presten a una relativa facilidad de limpieza

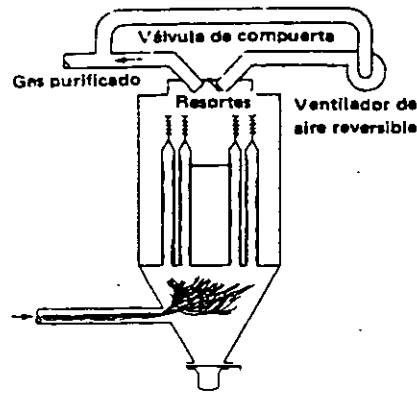


Salida del aire purificado



Casa típica de bolsas con sacudimiento mecánico. (Cortesía de Wheelabrator Frye, Inc., Mishawaka, Ind.).

Aire sin purificar



Eliminación de la ceniza

Dibujo de una casa de bolsas con limpieza por flujo invertido.

**Precipitadores electrostáticos.**

La colección de partículas y aerosoles mediante la precipitación electrostática se basa en la mutua atracción entre las partículas con una carga eléctrica y un electrodo colector de polaridad opuesta. Esta técnica ha formado una parte importante de los métodos industriales de limpieza, desde los primeros trabajos de F.G. Cottrell en 1910. Entre sus ventajas están: una capacidad para manipular grandes volúmenes de gas, altas eficiencias colectoras aun para partículas del tamaño de los submicrones, bajo consumo de energía y bajas pérdidas de tiro y capacidad para operar con gases a temperaturas relativamente altas.

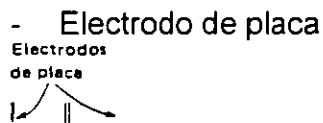
Algunos datos típicos de los usos de los precipitadores electrostáticos.

<i>Industria</i>	<i>Gasto de gas</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Concentración del polvo</i>	<i>Eficiencia típica</i>
<i>(uso)</i>	<i>(10<sup>3</sup> pcam)</i>	<i>°F(°C)</i>	<i>gr/pie<sup>3</sup> (g/m<sup>3</sup>)</i>	<i>%</i>
Energía eléctrica (cenizas finas)	50-750	270-600 (130-320)	0.40-5 (0.9-12)	98-99.6
Cemento Portland (polvo del horno)	50-1,000	30-750 (150-400)	0.50-15 (1.1-35)	85-99 +



Acero (de reverbero)	30-75	100-150 (40-65)	0.02-0.5 (0.04-1.1)	95-99
Pulpa y papel (vapores de las plantas de pulpa kraft)	50-200	275-350 (135-180)	0.50-2 (1.1-4.5)	90-95
Petróleo (recuperación del catalizador)	50-150	350-550 (180-290)	0.10-25 (0.2-60)	99-99.9

FUENTE: *AirPollutwn E ngineering Manual*, AP-40, 2a. cd., EPA, mayo de 1973.



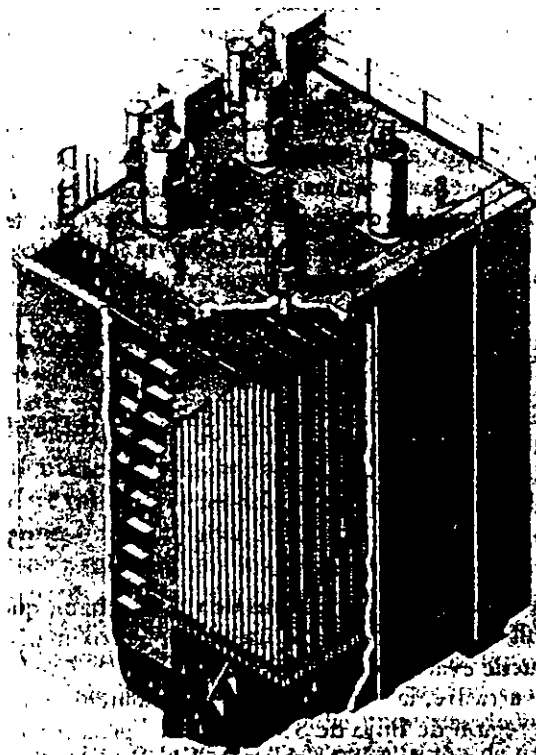
Flujo del gas \_\_\_\_\_ Electrodo de alambre

Electrodo de alambre  
 Vista horizontal en  
 dirección del flujo

Campo eléctrico

Vista desde arriba





Croquis de un precipitador electrostático de placa y alambre, *b*) Precipitador electrostático montado. (Cortesía de Research-Cottrell, Inc., Bound Brook, N.J.)

### **Control de los óxidos de azufre.**

El dióxido de azufre es uno de los contaminantes del aire que más se emiten. En la tabla se observa que las calderas de las plantas generadoras de energía solar son la causa de más del 50 por ciento del total de emisiones. El azufre es un componente de todos los petróleos y carbones naturales, con una composición que varía de 0.1 a más del 5 por ciento. Por tanto, la emisión total de SO<sub>2</sub> varía considerablemente con la naturaleza u origen de los combustibles fósiles.



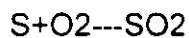
**Emisiones anuales estimadas de los óxidos de azufre, en millones de toneladas**

<i>Fuente</i>	1971	1974	1977
Transporte	0.7	0.7	0.8
Consumo de combustible estacionario			
Generación de electricidad	15.7	17.2	17.6
Industrial	4.0	3.3	3.2
Residencial, comercial	1.9	1.6	1.6
Industria química	2.0	2.1	1.8
Industria metalúrgica	3.8	3.5	2.4
Otras	0.2	0.	0.
<b>Total</b>	<b>28.3</b>	<b>28.4</b>	<b>27.4</b>

FUENTE: National Air Quality, Monitoring, and Emissions Trends Report, 1977.EPA-450/2-78-052, diciembre de 1978.

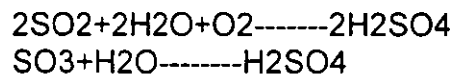
La concentración de SO<sub>2</sub> está confinada a la mayoría de las áreas urbanas. Debido a su ventajosa localización con respecto a las secciones industriales y a los patrones predominantes del viento, algunas secciones de un área urbana podrán cumplir fácilmente las normas para el control del SO<sub>2</sub>. Otras secciones de la ciudad podrán a menudo sobrepasar drásticamente los límites federales o locales, debido a su desafortunada localización.

La reacción total para la formación del dióxido de azufre a partir del azufre es sencillamente



La reacción es altamente exotérmica, con un calor liberado de 296,800 kJ/kg-mol (127,700 Btu/libra-mol) a 25°C.

Hay otras dos reacciones que ocurren en la atmósfera cuando predomine un alto contenido de humedad





La primera reacción de oxidación de las anteriores tiene lugar rápidamente en la presencia de sales metálicas, tales como los sulfatos y cloruros de hierro y manganeso. Estas sales metálicas actúan como catalizadores de la reacción. Las diminutas gotas de ácido sulfúrico que se forman, además de ser altamente corrosivas, tienden a reducir la visibilidad. Estas reacciones son también causantes, en parte, del fenómeno de la lluvia ácida.

### METODOS GENERALES DE CONTROL.

Los datos de la tabla indican que casi las tres cuartas partes de las emisiones de dióxido de azufre se originan por el consumo de combustibles fósiles. Por tanto, los métodos de control aquí comentados son aquellos específicamente aplicables al consumo de combustibles fósiles, como los que se utilizan en las plantas generadoras de energía.

Existen cuatro métodos o alternativas posibles, que se podrán utilizar para reducir las emisiones de dióxido de azufre a partir del consumo de combustibles fósiles. Los métodos potenciales son:

- A. Cambio a un combustible con bajo contenido de azufre.
  - 1. Gas natural.
  - 2. Gas natural licuado.
  - 3. Petróleo con bajo contenido de azufre.
  - 4. Carbón con bajo contenido de azufre.
- B. Uso de carbón y petróleo sulfurizados.
- C. Construcción de chimeneas altas a fin de aumentar la dispersión atmosférica.
- D. Utilización de métodos de desulfuración de los de la combustión.

Descripción de algunos procesos para la remoción del dióxido de azufre.

Orígenes del proceso	Operaciones del proceso	Material activo	Producto principal de azufre
A. Proceso de depuración desechable.			
1. Cal o caliza.	Depuración con lechada	CaO, CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>3</sub> /CaSO <sub>4</sub>
2. Sodio	Solución de NaSO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
3. Doble álcali	Solución de Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , regenerada con	CaCO <sub>3</sub> /Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	CaSO <sub>3</sub> /CaSO <sub>4</sub>



	CaO o CaCO <sub>3</sub>		
4. Cal/caliza, promovida con magnesio	Solución de MgSO <sub>3</sub> , regenerada por CaO o CaCO <sub>3</sub>	MgO/MgSO <sub>4</sub>	CaSO <sub>3</sub> /CaSO <sub>4</sub>
B. Procesos de depuración con regeneración			
1. Oxido de magnesio	Lechada de Mg(OH) <sub>2</sub>	MgO	15% SO <sub>2</sub>
2. Sodio	Solución de Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	90% SO <sub>2</sub>
3. Citrato	Solución de citrato de sodio	H <sub>2</sub> S	Azufre
4. Amoniaco	Solución de amoniaco, conversión a SO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> OH	Azufre (99.9%)
C. Procesos en seco			
1. Adsorción por carbón	Adsorción a 400°K, reacción con H <sub>2</sub> S a S, reacción con H <sub>2</sub> a H <sub>2</sub> S	Carbón activado/H <sub>2</sub>	Azufre
2. Secador por aspersión	Adsorción con soluciones de carbonato o de cal apagada	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> /Ca(OH) <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> /Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> o CaSO <sub>3</sub> /CaSO <sub>4</sub>

#### Control de los óxidos de nitrógeno en fuentes estacionarias.

Los óxidos gaseosos estables del nitrógeno incluyen el N<sub>2</sub>O (óxido nitroso), NO (monóxido de nitrógeno), N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (trioxido de nitrógeno), NO<sub>2</sub> (dióxido de nitrógeno) y N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (pentóxido de nitrógeno). También existe una forma inestable, el NO<sub>3</sub>. De éstos, los únicos que están presentes en la atmósfera en cantidad significativa son el N<sub>2</sub>O, NO, y NO<sub>2</sub>. Por tanto, estos tres son contribuyentes potenciales a la contaminación del aire. El óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) es un gas inerte con características anestésicas. Su concentración ambiental es de 0.50 ppm, que está considerablemente por debajo de la concentración de umbral que pudiera producir un efecto biológico. Además, tiene un ciclo ambiental balanceado que es independiente de los otros óxidos de nitrógeno.

El monóxido de nitrógeno (NO) es un gas incoloro y su concentración ambiental es por lo general menor que 0.5 ppm. A estas concentraciones, su toxicidad biológica



en términos de la salud humana es insignificante. Sin embargo, el monóxido de nitrógeno es un precursor de la formación del dióxido de nitrógeno y es también un compuesto activo en la formación del neblumo fotoquímico. Por tanto, inicia reacciones que producen contaminantes del aire. Por consiguiente, el control del NO es un factor importante en la reducción de la contaminación del aire. El dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) es un gas pardo rojizo y es muy visible cuando está presente en una suficiente cantidad. Una concentración de 1 ppm de NO<sub>2</sub> es probable que sería detectado a simple vista.

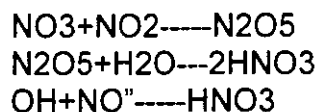
No se conocen del todo los efectos toxicológicos y epidemiológicos del NO<sub>2</sub> sobre los seres humanos. Por lo que se sabe, el NO<sub>2</sub> no es un contaminante primario en el sentido de que afecta en forma directa la salud humana, a menos que la concentración sea muy elevada. Antes, el límite de umbral en el ambiente ha sido considerado como alrededor de 5 ppm para la exposición diaria. Se ha sugerido un nivel de umbral de aproximadamente 1.5 ppm de NO<sub>2</sub> para los trastornos fisiológicos (1). El riesgo ambiental del dióxido de nitrógeno está asociado principalmente con los efectos en los pulmones (respiratorios) del contaminante. Individuos sanos expuestos a concentraciones de NO<sub>2</sub> entre 0.7 y 5.0 ppm durante 10 a 15 minutos han desarrollado condiciones anormales en la resistencia de los conductos pulmonares. La exposición a 15 ppm de NO<sub>2</sub> causa irritación en los ojos y en la nariz, y se han notado trastornos en los pulmones a 25 ppm, para una exposición de menos de 1 hora. No obstante, estos resultados carecen probablemente de importancia en el campo de la medicina, en lo que respecta a las concentraciones presentes en la atmósfera (1), puesto que ocurrieron a sólo niveles de dióxido de nitrógeno de 5 a 20 veces el nivel del aire ambiente. No se conoce de una manera adecuada la importancia de los niveles usuales atmosféricos del NO<sub>2</sub> en lo que concierne a la salud humana.

#### FUENTES Y CONCENTRACIONES DEL Nox.

Más del 90 por ciento de todos los óxidos de nitrógeno producidos por el hombre se originan por el consumo de combustibles. A una escala nacional, aproximadamente la mitad del Nox proviene de fuentes móviles, tales como los motores de encendido por chispa o por compresión instaladas en automóviles y camiones.

La tasa de emisión de Nox producida por el hombre no representa una seria preocupación en la actualidad. Los óxidos de nitrógeno son parte esencial del ciclo del nitrógeno en la naturaleza. EL dióxido de nitrógeno se hidroliza a ácido nítrico en la atmósfera, que se precipita a su vez como nitrato. Estos últimos regresan a la superficie terrestre como fertilizante para promover el crecimiento orgánico. Entre las posibles reacciones atmosféricas para la formación del ácido nítrico se tienen:





El ácido nítrico es un principal contribuyente de la lluvia ácida.

La contaminación del aire asociada con el Nox representa un problema local. Dependerá de las tasas de emisión de las fuentes en el área local. Con base en los conocimientos médicos actuales y de las concentraciones del Nox, este último no se considera, per se, un riesgo para la salud. El daño real presentado por el Nox a las concentraciones que se encontraron en las áreas metropolitanas se basa en el papel que tiene en las reacciones fotoquímicas que conducen a la formación del neblumo. Estas reacciones llevan a la formación de compuestos químicos que tienen efecto adverso directo sobre los seres humanos y las plantas. En algunas situaciones, el Nox podrá estar presenta a concentración suficientemente alta, y sin embargo, no reaccionar para la formación del neblumo, debido a que están ausentes otras condiciones de la reacción. No obstante, casi todas las principales ciudades en cualquier país tecnológicamente avanzado, experimentan a veces hoy en día, los efectos inducidos por la presencia del Nox.

En una fuente de emisión, la concentración de los óxidos de nitrógeno es mucho más elevada que los valores ambientales. Por ejemplo, la concentración del Nox en el gas de la combustión de un calentador doméstico de agua, alimentado con gas, es de 10 ppm o menos, mientras que el nivel de los gases de la combustión de la caldera de vapor de una planta generadora de energía, puede llegar a 500 a 1,000 ppm. Las cantidades actuales del Nox producidas por cualquier industria pueden ser muy grandes. Por ejemplo, una planta generadora de energía de vapor, de 750 MW y alimentada con gas o carbón, produce casi 7,500 a 9,500 libras de Nox (de NO<sub>2</sub> equivalente) por hora.

Factores de emisión para los óxidos de nitrógeno.

Fuente	Factor de emisión promedio
Carbón	
Doméstica y comercial	8 libra/tonelada de carbón consumido
Industria y servicios	20 libra/tonelada de carbón consumido
Aceite combustible	
Doméstica y comercial	12 a 72 libra/1,000 galones de petróleo



	consumido
Industria	72 libra/1,000 galones de petróleo consumido
Servicios	104 libra/1,000 galones de petróleo consumido
Gas natural	
Doméstica y comercial	116 libra/millón de pie <sup>3</sup> de gas consumido
Industria	214 libra/millón de pie <sup>3</sup> de gas consumido
Servicios	390 libra/millón de pie <sup>3</sup> de gas consumido
Turbina de gas	200 libra/millón de pie <sup>3</sup> de gas consumido
Disposición de residuos	
Incinerador cónico	0.65 libra/tonelada de desperdicios incinerados
Incinerador municipal	2 libra/tonelada de desperdicios incinerados
Combustión en fuentes móviles	
Vehículos impulsados con motores de gasolina	113 libra/1,000 galones de gasolina consumida
Vehículos impulsados con motores diesel	222 libra/1,000 galones de petróleo consumido
Aviación: aviones de propulsión del tipo de compresor convencional	23 libra/vuelo por motor 9.2 libra/vuelo por motor
Fabricación del ácido nítrico	57 libra/tonelada de ácido producido

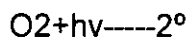
#### Reacciones fotoquímicas atmosféricas.

Entre las características más molestas de la vida en las áreas metropolitanas de países industrializados está la presencia frecuente del neblumo. Neblumo es el nombre que usualmente se da a aquella forma de contaminación del aire que se origina de la interacción de la luz solar con varios constituyentes de la atmósfera. El neblumo se caracteriza químicamente por un nivel relativamente alto de oxidante que irritan ojos y garganta, dañan plantas y son causa de que los productos de características semejantes al hule se cuarteen. Los olores y la disminución de la visibilidad son también característicos de las condiciones del neblumo.

#### EL OXIGENO MONOATOMICO Y LA FORMACION DEL OZONO.



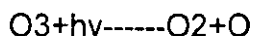
En la alta atmósfera (por encima de 50 millas) los fotones de alta energía atacan al oxígeno molecular, según lo indica la reacción



Esto da por resultado que el oxígeno exista solamente como O monoatómico en esta región. A más bajas alturas, el oxígeno monoatómico experimenta algunas reacciones. Dos de ellas recombinaciones para formar  $O_2$  y, más importante, la combinación con el  $N_2$  para formar ozono,  $O_3$ , según la reacción



Donde M es un tercer cuerpo capaz de aceptar energía. El propio ozono experimenta cambios fotoquímicos ( $\lambda = 0.2-0.29 \mu m$ ) de modo que



El resultado final es que se crea una capa de ozono por encima de la superficie terrestre, con la mayor concentración (0.03 ppm) en la región entre 10 y 20 millas sobre la superficie terrestre.

Ahora bien, debido a la turbulencia y la difusión en la atmósfera, algunas de las sustancias liberadas por las fuentes originadas por el hombre se exponen a las condiciones de la estratosfera. Cualesquiera óxidos de nitrógeno arrastrados hasta dicha región, o formados allí mismo regresarán probablemente a la tierra como ácido nítrico como resultado del efecto de oxidación en la capa de ozono.

Esta capa de ozono ofrece varios efectos interesantes. Debido a las características de absorción del ozono, actúa como un filtro para las radiaciones ultravioleta, que tratan de llegar a la superficie terrestre. Por tanto, a más baja altitud se reduce algo la actividad fotoquímica. Desde el punto de vista del hombre, dicha reducción es esencial independientemente de los problemas del neblumo. El cuerpo humano, como está constituido no podría soportar la radiación ultravioleta procedente del sol, si esta radiación no estuviera atenuada por la capa de ozono.

#### PAPEL DE LOS OXIDOS DE NITROGENO EN LA FOTOOXIDACION.

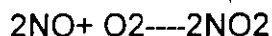
EN las áreas donde las emisiones de la industria pesada se combinan con emisiones de fuentes móviles, la atmósfera recibe grandes cantidades de  $SO_2$  y  $NO$ , que son agentes reductores, e hidrocarburos, que por lo general no tienen fuerza oxidante. En ausencia de la luz solar, el  $SO_2$  y el  $NO$  se convertirían lentamente en sulfatos y nitratos; no existirían entonces las condiciones que ahora predominan en las áreas urbanas. No obstante, se tiene el problema de la



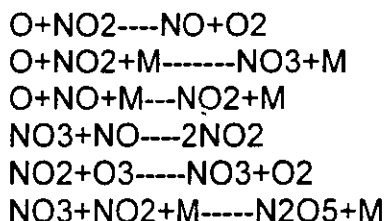


contaminación del aire, debido al hecho de que, además del SO<sub>2</sub> y el NO, los hidrocarburos y la luz solar están presentes en la atmósfera urbana.

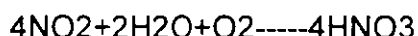
Según el monóxido de nitrógeno (NO) es liberado por fuentes estacionarias y móviles, tiende a oxidarse a NO<sub>2</sub> por medio de la reacción



Son posibles otras numerosas reacciones que incluyen especies que contengan nitrógeno y oxígeno. Entre las reacciones sugeridas están las siguientes:



Algunas de estas especies se podrían eliminar finalmente de la serie de reacciones. Por ejemplo, en la presencia de gotas de vapor de agua en la atmósfera, se encontrará que

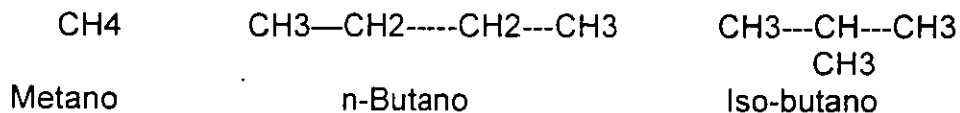


El dióxido de nitrógeno se hidroliza también en la fase gaseosa para formar

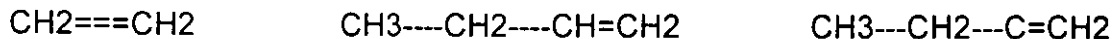


#### ORIGEN DE LAS EMISIONES DEL ESCAPE DE MOTORES DE GASOLINA

a) Saturados, cadenas rectas y ramificadas (parafinas o alcanos)



b) No saturados, cadenas rectas o ramificadas (olefinas o alquenos)





CH<sub>2</sub>

Etileno	1-Buteno	2-metil-1buteno
c) Cicloparafinas (cicloalcanos)	d) Aromáticos	
CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub>	CH CH CH	CH <sub>3</sub> CH CH CH
Ciclobutano	Benceno	Tolueno

### Instrumentación.

La determinación de la cantidad de un contaminante del aire, presente en una corriente de gases de escape, o en el ambiente atmosférico, requiere mucho cuidado y el uso de una instrumentación sensible puesto que, en cualesquiera de los casos, la concentración del contaminante que interesa, es pequeña. Debido a la similitud de los requisitos básicos para obtener un muestreo preciso de los gases y de los tipos empleados de instrumentación, ambas áreas se tratarán juntas. No obstante, se debe hacer notar que, mientras que la concentración de las especies que interesan en el ambiente atmosférico podrá ser de pocas partes por millón o billón, la concentración en la corriente de gases de escape puede representar cierto porcentaje.

### TREN DE MUESTREO.

La determinación de los componentes del flujo de una corriente gaseosa no podrá tener mayor exactitud que la que le proporcione el grado hasta el cual la muestra tomada sea representativa del flujo de gas. Para que los resultados tengan sentido, la muestra deberá representar la concentración y composición variables de la corriente real de gas. Cuando estén implicados grandes chimeneas o ductos de gas, una muestra representativa del gas requerirá que se efectúen muestreos transversales al paso del gas.

Los dispositivos y procedimientos de muestreo deberán satisfacer los siguientes requisitos generales:

1. Todos los componentes del tren de muestreo deberán ser químicamente inertes con respecto a los gases que se muestrean. Puede que este



requerimiento resulte difícil de cumplir, puesto que el acero inoxidable y algunos plásticos pueden producir ciertas reacciones químicas entre los contaminantes del aire. Se debe tener cuidado e impedir la absorción de los contaminantes sobre las superficies del tren de muestreo.

2. La temperatura en la sonda de muestreo y las líneas de gas deberán mantenerse por encima del punto de rocío de los vapores condensables presentes en la muestra de gas. Además, algunas instalaciones requieren que la temperatura de la sonda y la línea esté por encima o por debajo de las temperaturas específicas de las reacciones químicas, a fin de evitar cambios indeseables en la composición química de la muestra de gas.
3. Será preciso conocer el gasto total volumétrico de la corriente gaseosa que se muestrea. También se deberá conocer el gasto volumétrico de la corriente de muestra del gas.
4. La muestra se deberá obtener isocinéticamente. Esto es, la velocidad del gas que entra a la sonda de muestreo tiene que tener la misma magnitud y dirección que el gas en la corriente principal.
5. La cantidad de gas colectado deberá ser suficiente para satisfacer los requisitos de los métodos o dispositivos utilizados en el análisis de la muestra.
6. La localización de la estación de muestreo deberá estar en una sección recta del ducto o chimenea y cuando menos a una distancia de 15 diámetros de la tubería, en la dirección de la corriente, de una curva u obstrucción. No deberán haber ni curvas ni obstrucciones cuando menos a 10 diámetros de tubería en la dirección de la corriente, desde la estación de muestreo.
7. Al tomar muestras del ambiente atmosférico, el período de muestreo deberá ser lo suficientemente largo a fin de poder satisfacer el tiempo requerido por el método analítico seleccionado.
8. Es necesario medir la temperatura y presión manométrica de la muestra de la corriente gaseosa, de manera que se pueda calcular el volumen de gas en condiciones normales.

Los diversos procedimientos y dispositivos disponibles para el análisis de la mezcla de gas, una vez obtenida, se tratarán en las secciones siguientes. Los detalles específicos de los instrumentos individuales se pueden obtener de los fabricantes del equipo, o se podrán encontrar en las referencias que se encuentran en publicaciones adecuadas.

#### ANALISIS DE PARTICULAS.



La mayor parte de los dispositivos empleados en el muestreo de los contaminantes de partículas en el aire, son meramente colectores. El análisis de partículas y la determinación de su cantidad se deberán efectuar por separado. Como las partículas se pueden encontrar en las fases tanto sólidas como líquidas, puede que se requieran diversos tipos de colectores. En muchos casos, los diferentes colectores podrán ser utilizados en serie. Se deberá tener cuidado e impedir la acumulación de partículas sobre las paredes de la sonda de muestreo y el tubo de conexión. Se deberá también hacer notar que si los colectores de partículas preceden a los muestreadores de gas, puede ocurrir que los gases que se desee aislar puedan ser absorbidos o experimentar una reacción química sobre las superficies de las partículas acumuladas. Se debe evitar esta situación indeseable. La figura ilustra un tren de muestreo para partículas.

Los mecanismos básicos empleados en la operación de estos colectores son del mismo tipo que los usados en grandes dispositivos de control de las partículas; por esta razón, estos colectores se pueden considerar como colectores en miniatura. Quizá el filtro constituye el colector de uso más generalizado. Se dispone de gran variedad de elementos filtrantes básicos: discos de papel, papel plegado, algodón, bolsas de lana o asbesto, fibras de vidrio o de lana, rejillas de alambre, etc. Pequeñas torres empacadas húmedas, simples dispositivos de burbujeo, y lavadores venturi, se utilizan como colectores de depuración o lavado. También se dispone de precipitadores eléctricos y pequeños separadores ciclónicos. Se usan mucho los impactadores.

Tren de muestreo para partículas en los gases de chimenea.



Impactadores para la colección de partículas.

## ANALISIS DE GASES.

Durante años, expertos técnicos de laboratorio han realizado análisis químicos húmedos a fin de determinar las cantidades de contaminantes gaseosos del aire, en la atmósfera o en las muestras de las corrientes gaseosas. Sin embargo, debido al reciente crecimiento explosivo en el campo del control de la contaminación del aire, no es posible satisfacer la demanda de mediciones de muestras de aire, por dichos procedimientos. Se presenta a menudo la necesidad de obtener análisis de las muestras, continuos o en línea, en sitios remotos, y estas necesidades no se pueden satisfacer por los procedimientos normales de los laboratorios químicos. La demanda de instrumentos diseñados para ayudar en los análisis de emisión de los vehículos ha producido también cambios importantes en la instrumentación de que se dispone.

Método colorimétrico.

La medición de contaminantes del aire es continua, por lo que se podría llamar la primera generación de instrumentos para determinar la contaminación del aire. Estos instrumentos fueron adaptados de otros instrumentos o procedimientos en uso en la industria de los procesos químicos. Operan típicamente basándose en el principio siguiente: solución en un medio acuoso del gas que se ha de determinar; reacción con un reactivo que forma un color; y medición del color formado por medios fotoeléctricos. Dichos analizadores se utilizan para medir concentraciones atmosféricas de SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> y oxidantes totales; emisiones de fuentes de Nox; y emisiones de CO, procedentes de vehículos. Estos instrumentos requieren considerable atención, y es posible que sus mediciones se afecten por sustancias interferentes que se encuentran en el aire contaminado.

Electrodos químicos sensores y celdas electroquímicas.

En el analizado químico sensor, un volumen conocido de gas se pone en contacto con una solución absorbente que tiene un valor de pH de referencia. La solución, que contiene el contaminante gaseoso disuelto (SO o Nox) pasa luego por un



electrodo selectivo a los iones, y donde se mide electrónicamente la concentración de iones proporcional al contaminante absorbido.

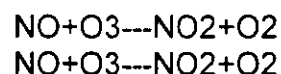
Instrumentos infrarrojos no dispersivos (IRND).

Se pueden utilizar fenómenos físicos más bien que características químicas para inferir la concentración de los contaminantes gaseosos del aire. Se tiene por ejemplo el dispositivo infrarrojo no dispersivo, utilizado para medir los gases que absorben las radiaciones infrarrojas, como el monóxido de carbono. En este dispositivo se utilizan como autodetectoras las especies por medir. El método de medición se basa en el principio de la absorción selectiva. Una determinada longitud de onda de energía infrarroja, específica a un gas dado, será absorbida por dicho gas, mientras que se transmitirán otras longitudes de onda. La banda de absorción del monóxido de carbono, por ejemplo, se halla entre 4.5 y 5  $\mu\text{m}$ .

Analizador infrarrojo no dispersivo.

Quimoluminiscencia.

Los analizadores quimoluminiscentes se emplean para medir las cantidades de los óxidos de nitrógeno u oxidantes, medidos como ozono. Cuando el NO reacciona con el ozono, se produce una cierta cantidad de especies excitadas de NO<sub>2</sub>, las que luego pasan al estado básico por la emisión de energía de radiación. La energía radiante es medida por un tubo fotomultiplicador cuya salida eléctrica es amplificada y alimentada a dispositivos adecuados de lectura directa. Las reacciones químicas son:



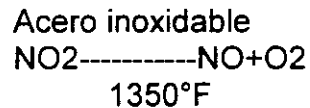
Alrededor del 5 al 10 por ciento de la cantidad total de NO<sub>2</sub> es producida por la segunda reacción. Luego



## NO<sub>2</sub>---hv+NO<sub>2</sub>

El tubo fotomultiplicador recibe la radiación hv. La intensidad de la radiación es proporcional a la cantidad original de NO que está presente en la muestra de gas.

Cuando el NO<sub>2</sub>, así como el NO, está presente en la muestra de gas, éste se hace pasar por un tubo caliente de acero inoxidable, antes de introducirlo en la cámara de reacción quimoluminiscente. La reacción química es



Operación del espectrómetro de masa.

Espectrómetro de masa.

A pesar de que se le considera originalmente como un dispositivo de investigación en el laboratorio, el espectrómetro de masa tiene en la actualidad una aplicación amplia en el análisis de los contaminantes del aire. Básicamente, el espectrómetro de masa es un instrumento que se utiliza para separar e identificar átomos y moléculas. Las partículas que interesan se ionizan primero, luego se aceleran por medio de un campo eléctrico, y se hacen pasar por un recorrido curvo, como se muestra en la figura anterior. El más pesado de los dos iones tendrá un recorrido con un mayor radio de curvatura y chocará, por tanto, en un blanco o detector en una diferente posición que la producida por el ion más ligero. Como la velocidad de las partículas, la fuerza del campo magnético, y las trayectorias se determinan con facilidad, se podrán calcular con precisión las masas de los varios iones (átomos y moléculas).

## MONITOREO DEL MONOXIDO DE CARBONO Y LOS HIDROCARBUROS.

La medición del CO en el medio ambiente y de fuentes móviles y estacionarias se efectúa con mayor frecuencia empleando el principio de la absorción infrarroja no dispersiva (AIRND), la cromatografía gaseosa combinada con un detector de la ionización de la flama (CG-DIF), y la oxidación catalítica. En esta última, la técnica



usual es la de medir la diferencia de temperatura entre una celda en la que ocurre la oxidación y una celda similar donde no ocurre oxidación. La magnitud de la diferencia de temperatura, registrada por los termopares, constituye una indicación de la concentración del CO en la corriente gaseosa. Para la oxidación del CO, el catalizador es usualmente la Hopcalita, que es una mezcla de  $MnO^2$  y  $CoU$ , a pesar de que se pueden utilizar otros catalizadores.

## MÉTODOS DE MONITOREO PARA EL DIÓXIDO DE AZUFRE.

Ha sido estimado que se encuentran en el mercado más de 100 instrumentos comerciales para el monitoreo continuo del  $SO^2$ . Estos instrumentos están basados en algunos principios. Entre ellos se incluyen: conductividad, colorimetría, técnica infrarroja no dispersiva, coulombimetría, espectrofotometría, espectrometría de la flama, electroquímica, y los núcleos de condensación. Entre las más importantes características que se requieren de cualesquiera de estos instrumentos, está la sensibilidad, puesto que el nivel de  $SO^2$  en zonas no urbanas es alrededor de 0.02 ppm o menos. Muchas unidades comerciales tienen un límite inferior de detección de aproximadamente 0.01 ppm. Otro importante requerimiento para cualquier dispositivo de detección en la no interferencia por otras sustancias en la muestra de gas.

## MONITOREO DE PARA LOS ÓXIDOS DE NITRÓGENO.

Se utiliza un cierto número de principios básicos en los instrumentos para la detección de NO y  $NO_2$  en el aire ambiental o procedentes de fuentes estacionarias y móviles. Entre ellos se encuentran la colorimetría, coulombimetría, electroquímica, quimoluminiscencia y absorción infrarroja no dispersiva, visible y ultravioleta.

En las altitudes medias, los niveles de fondo del NO u el  $NO^2$  son aproximadamente de 2 ppmm y 4 ppmm respectivamente. Sin embargo, en áreas urbanas, la concentración media anual puede variar en general de 30 a 100 ppmm (0.03 a 0.10 ppm), con niveles horarios que alcanzan de 0.10 a 1.0 ppm. Las emisiones de  $No_x$  procedentes de los procesos de combustión pueden alcanzar 300 a 1000 ppm. Por tanto, el rango de detección requerido para el monitoreo del aire ambiental es muy diferente del necesario para emisiones de fuentes estacionarias. La absorción infrarroja no dispersiva se utiliza para el monitoreo de las emisiones de las fuentes estacionarias y móviles, pero no para el aire ambiental. No obstante, la quimoluminiscencia constituye una técnica apropiada para las tres situaciones. La medición del aire ambiental también se puede realizar por medio de dispositivos colorimétricos y coulombimétricos. Los monitoreos de las fuentes estacionarias hacen también un uso apropiado de la celda electroquímica, así como de la absorción no dispersiva, visible y ultravioleta.





## MONITOREO DE LOS OXIDANTES FOTOQUÍMICOS.

La quimoluminiscencia constituye el principal método para monitorear los oxidantes fotoquímicos en la atmósfera ambiental, a pesar de que algunos instrumentos comerciales se basan en principios colorimétricos o coulombimétricos. Las mediciones de oxidantes deberán corregirse para la presencia de  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$  y los valores que resulten constituyen primero una indicación de la concentración de ozono. Una técnica conveniente para el control continuo del ozono en el aire, se basa en la quimoluminiscencia que resulta de la reacción entre el ozono y etileno a la presión atmosférica. Es posible controlar ya sea el ozono o el monóxido de nitrógeno atmosférico por medio de una reacción quimoluminiscente a baja presión entre el monóxido de nitrógeno y el ozono. Esta última técnica ha sido ampliada (15) para incluir la medición de los óxidos totales de nitrógeno así como el  $\text{Nox}$  junto con el amoniaco.