



GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE
Causas, Efectos y Soluciones



1ra. Edición, Julio 2004

Diseño de Carátula

Carlos Bermudes-Mendoza

Arte y Diagramación de Interiores

Carlos Bermudes-Mendoza

Edición y Dirección Editorial

Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial - UNMSM

Av. Venezuela 3400, Lima 01

Tel +511 4514800

Fax +511 4520349

E-mail: iifi@unmsm.edu.pe



© 2004, Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial

Impreso en Perú / Printed in Peru

DERECHOS RESERVADOS: Decreto Legislativo N°822

Prohibida la reproducción de este libro por cualquier medio, total o parcialmente, sin permiso expreso del autor.

*Si buscas resultados distintos, no
hagas siempre lo mismo.*

Albert EINSTEIN





PRÓLOGO

Las preocupaciones por la problemática ambiental surgen de la observación de las consecuencias negativas que ciertas actividades humanas han producido en el ambiente, alterando substancialmente la calidad de vida.

Las políticas sobre el uso racional de los recursos naturales y la aplicación de pautas ambientales para la contaminación atmosférica dependen, en buena medida, del correcto manejo del impacto que produzcan las acciones del ámbito público y privado.

En ese sentido, las regulaciones ambientales sobre la calidad del aire deben estar diseñadas de acuerdo a la realidad de nuestro País y no copiadas, de sociedades distintas que no reflejan las reales posibilidades de realizar acciones de reducción de la contaminación atmosférica, de manera equitativa, estables y transparentes, anunciando sin errores los deberes y derechos.

El presente manual sobre Calidad del Aire, responde a una necesidad fundamental del conocimiento sobre las causas, efectos y soluciones para contribuir en las estrategias de control, monitoreo y evaluación de la contaminación atmosférica en las ciudades, en la industria y en las viviendas.

No quiero terminar sin felicitar al Autor por haber realizado este trabajo, aportando una importante guía para la gestión de la calidad del aire.

RAYMUNDO CARRANZA NORIEGA
Director GHIS JAA / Consultor en Medio Ambiente







ÍNDICE

Prólogo	5
Introducción	9
Dedicatoria	11
Capítulos	
1. La Contaminación del Aire	13
2. La Atmósfera en la Tierra	17
3. Fuentes Contaminantes del Aire	21
4. Contaminantes del Aire	25
5. Efectos de la Contaminación del Aire	33
6. Normas de la Calidad del Aire	53
7. Transporte y Dispersión de Contaminantes del Aire	59
8. Medición y Análisis de Contaminantes del Aire	63
9. Monitoreo Atmosférico	69
10. Prevención de la Contaminación del Aire	83
11. Medios de Control de Emisión de Contaminantes	87
12. Administración de la Calidad del Aire	95
Glosario de Términos	105
Bibliografía	117







INTRODUCCIÓN

Desde el descubrimiento del fuego el hombre ha contaminado la atmósfera con gases perniciosos y polvo. Cuando se empezó a utilizar el carbón como combustible en el siglo XIX este problema comenzó a ser una preocupación general. El aumento de consumo de los combustibles por la industria, por las grandes concentraciones humanas en las áreas urbanas y por la aparición del motor de explosión, ha empeorado el problema año tras año.

En sentido amplio, la contaminación del aire puede ser producto de factores naturales como emisiones de gases y cenizas volcánicas, el humo de incendios no provocados, el polvo y el polen y esporas de plantas, hongos y bacterias. Sin embargo, la contaminación derivada de las actividades del ser humano, es la que representa el riesgo más grave para la estabilidad de la biosfera en general. Esta contaminación es provocada por diversas causas, pero el mayor índice se debe a las actividades industriales, comerciales, domésticas, agropecuarias y a los motores de los vehículos, por el impacto que tienen las sustancias que arrojan a la atmósfera. Los vehículos motorizados, por ejemplo, contaminan con monóxido de carbono, dióxido de azufre, ozono y partículas suspendidas de plomo.

El efecto invernadero y la disminución de la capa de ozono son dos factores trascendentales causados por la contaminación del aire. El exceso de dióxido de carbono (CO_2), que emite la quema de combustibles fósiles (petróleo y sus derivados), en los procesos industriales y el uso de productos que contienen cloro-fluoruro-carbonatos (CFC), como aerosoles, refrigeradoras, aire acondicionados y calefacciones, hacen que los rayos ultravioletas del sol entren directamente a la tierra y se inicie un periodo de recalentamiento que puede tener efectos devastadores en los próximos cien años, tales como deshielo en los polos, y la elevación del nivel del mar que podría desaparecer ciudades completas.

Los problemas de la calidad del aire en el Perú, se deben principalmente a las emisiones del transporte urbano (se estima que contribuye entre un 70 y 80% de la contaminación atmosférica). Las fuentes fijas más importantes que generan contaminación del aire son las actividades minero-metalúrgicas (principalmente fundiciones) y las fábricas pesqueras, que coincidentemente, son las dos actividades económicas más importantes que desarrolla el país. (CONAM, 2000).





Es importante recalcar el impacto que tiene la contaminación atmosférica en la salud pública. El Instituto de Salud del Niño atiende anualmente 12,750 casos de menores con plomo en la sangre (Lima y Comas concentran el mayor número de casos). Por otro lado, el 20% de las personas afectadas por la contaminación de aire en Lima, sufre de dolores de cabeza, mientras que el 25% padece mareos, vómitos y desmayos, los que a la larga causan daños cerebrales permanentes. A su vez, el exceso en la inhalación de monóxido de carbono puede llevar a la muerte, por complicaciones pulmonares (CONAM, 2000).

La importancia del aire que respiramos es innegable. Se puede sobrevivir cuarenta días sin ingerir alimentos y algunos días sin líquidos, pero apenas unos minutos sin respirar. El alimento "etérico" del aire -el prana para los orientales- es de vital importancia en todos los procesos fisiológicos y metabólicos de los seres vivos. Es en el interior de los compartimientos donde hay que prestar mayor atención, ya que, cuando se trata de ambientes cerrados y escasamente ventilados, el problema se agrava. En tales circunstancias, el aire se vuelve muy peligroso debido a la carencia de algunos compuestos y el exceso de otros. Lo que se traduce en alergias, problemas respiratorios, resfriados, náuseas, irritaciones y dolores de cabeza.

El objetivo de este manual, es hacer un llamado a reflexionar y tomar conciencia de las causas y consecuencias que trae consigo la destrucción del medio ambiente. A esta misma reflexión debieron llegar los miembros de las Naciones Unidas cuando se reunieron en Río de Janeiro en 1992 y firmaron el acuerdo sobre el "desarrollo sustentable". Para ellos llegar a un consenso tomó varios años, ahora para lograr el consenso global (en este mundo sobrepoblado), tomará aún más tiempo. Lo importante es tener la voluntad necesaria.





*A todos los profesionales y
estudiantes, quienes
con su esfuerzo forjan una nueva
cultura en Medio Ambiente.*





CAPÍTULO 1

LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE



Fuente: National Geographic - Julio 1999

INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas tiene efecto perjudicial en la calidad del aire, al aumentar la población las cantidades emitidas de contaminantes están aumentando y puesto que la cantidad total de aire, tierra y agua en el planeta es invariable, la porción disponible de cada uno de los recursos naturales para cada persona está disminuyendo; por lo que la contaminación del aire es hoy un elemento de dominio público; es decir, la contaminación interesa tanto a los responsables como a los que podrían sufrir las consecuencias.

Un contaminante puede afectar la salud de los seres humanos, así como de las plantas y animales, asimismo, puede afectar los materiales no vivos como pinturas, metales y telas.

En la ciudad de Lima en el 2001, la principal fuente de contaminación, es el parque automotor que alberga alrededor de 700 000 vehículos que consumen diariamente 9 000 m³ de combustible y es el responsable del 80% de las emisiones.

La contaminación del aire ha sido un problema de salud pública desde el descubrimiento del fuego. En la antigüedad, las personas encendían fogatas en sus cuevas y cabañas y frecuentemente contaminaban el aire con humo nocivo. El filósofo romano Séneca escribió sobre el «aire cargado de Roma» en el año 61 A.C. y en el siglo XI se prohibió la quema de carbón en Londres.



Fuente: www.utp.ac.pa/universal/89.htm

El origen de nuestros problemas modernos de contaminación del aire puede remontarse a la Inglaterra del siglo XVIII y al nacimiento de la revolución industrial. La industrialización comenzó a reemplazar las actividades agrícolas y las poblaciones se desplazaron del campo a la ciudad. Las fábricas para producir requerían energía mediante la quema de combustibles fósiles, tales como el carbón y el petróleo.

El principal problema de contaminación del aire a fines del siglo XIX e inicios del siglo XX fue el humo y ceniza producidos por la quema de combustibles fósiles en las plantas estacionarias de energía. La situación empeoró con el creciente uso del automóvil.

En años recientes, en respuesta a las recomendaciones de la Agenda 21 de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, realizada en 1992 y los compromisos asumidos en la Cumbre de las Américas de 1994, la OPS junto con los esfuerzos de otros organismos multilaterales y bilaterales, ha promovido, coordinado y apoyado varias actividades relacionadas con la mejora de la calidad del aire, como por ejemplo, la eliminación del plomo en la gasolina.

¿QUÉ ES EL AIRE?

El aire es un bien común limitado, indispensable para la vida; por lo tanto, su utilización debe estar sujeta a normas que eviten el deterioro de su calidad por el uso o abuso indebido del mismo, de tal modo que se preserve su pureza como garantía del normal desarrollo de los seres vivos sobre la Tierra y de la conservación del patrimonio natural y artístico de la Humanidad. Todos tienen el deber de trabajar para lograr un mundo limpio y habitable, sustento de una mejor calidad de vida para las generaciones futuras.

PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN

1. ¿Desde cuándo existe la contaminación del aire?
 - a. Desde el descubrimiento del fuego
 - b. Año 61
 - c. Siglo XVIII (Nacimiento de la revolución industrial)
 - d. Siglo XIX e inicios del siglo XX



CAPÍTULO 2

LA ATMÓSFERA EN LA TIERRA



Fuente: National Geographic - Noviembre 2000

INTRODUCCIÓN

La atmósfera es la envoltura gaseosa, de unos 200 kilómetros de espesor, que rodea la Tierra. Constituye el principal mecanismo de defensa de las distintas formas de vida. Ha necesitado miles de millones de años para alcanzar su actual composición y estructura que la hacen apta para la respiración de los seres vivos que la habitan.

Una de las funciones más importantes que realiza la atmósfera es proteger a los seres vivos de los efectos nocivos de las radiaciones solares ultravioleta. La Tierra recibe todo un amplio espectro de radiaciones procedentes del Sol, que terminarían con toda forma posible de vida sobre su superficie de no ser por el ozono y el oxígeno de la atmósfera, que actúan como un filtro absorbiendo parte de las radiaciones ultravioleta.

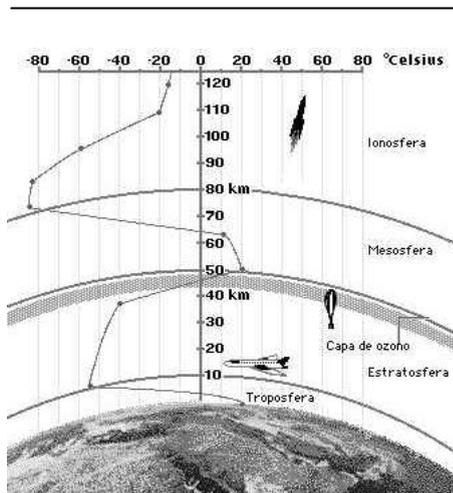
GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE: Causas, Efectos y Soluciones

17

¿QUÉ ES LA ATMÓSFERA?

La atmósfera es una mezcla de gases que rodea un objeto celeste (como la Tierra) que cuenta con un campo gravitatorio suficiente para impedir que escapen. La atmósfera actúa como un regulador térmico, trae lluvia de los océanos, calor de los desiertos y trópicos, y frío de los polos. Con frecuencia se mueve tranquilamente pero a veces muestra su fuerza por medio de tornados y ciclones desplazándose a más de 300 km/h. Es la responsable de todos los estados del tiempo y tipos de clima que influyen en la vida de las plantas, los animales y el hombre. La atmósfera

terrestre está constituida principalmente por nitrógeno (78%) y oxígeno (21%). El 1% restante lo forman el argón, el dióxido de carbono, vapor de agua, hidrógeno, ozono, metano, monóxido de carbono, helio, neón, kriptón y xenón.



Fuente: <http://biologicalmango.metropoliglobal.com/Atmosfera/>

CAPAS ATMOSFÉRICAS

La atmósfera se divide en 5 niveles. En la capa inferior, la troposfera, la temperatura suele bajar 5,5 °C por cada 1 000 metros. Es la capa en la que se forman la mayor parte de las nubes. La troposfera se extiende hasta unos 16 km en las regiones tropicales (con una temperatura de -79 °C) y hasta unos 9,7 km en latitudes templadas (con una temperatura de unos -51 °C).

A continuación está la estratosfera. En su parte inferior la temperatura es prácticamente constante, o bien aumenta ligeramente con la altitud, especialmente en las regiones tropicales. Dentro de la capa de ozono, aumenta más rápidamente, con lo que, en los límites superiores de la estratosfera, casi a 50 km sobre el nivel del mar, es casi igual a la de la superficie terrestre.

El estrato llamado mesosfera, que va desde los 50 a los 80 km, se caracteriza por un marcado descenso de la temperatura al ir aumentando la altura. Gracias a las investigaciones sobre la propagación y la reflexión de las ondas de radio,

se sabe que a partir de los 80 km, la radiación ultravioleta, los rayos X y la lluvia de electrones procedente del Sol ionizan varias capas de la atmósfera, con lo que se convierten en conductoras de electricidad. Estas capas reflejan de vuelta a la Tierra ciertas frecuencias de ondas de radio. Debido a la concentración relativamente elevada de iones en la atmósfera por encima de los 80 km, esta capa, que se extiende hasta los 640 km, recibe el nombre de ionosfera. También se la conoce como termosfera, a causa de las altas temperaturas (en torno a los 400 km se alcanzan unos 1 200 °C). La región que hay más allá de la ionosfera recibe el nombre de exosfera y se extiende hasta los 9 600 km, lo que constituye el límite exterior de la atmósfera.

PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN

1. La tropósfera llega a una altitud de:
 - a. 2 km
 - b. 5 km
 - c. 10 km
 - d. 20 km

2. Se extiende del kilómetro 80 a los 640 kilómetros.
 - a. Mesósfera
 - b. Tropósfera
 - c. Termósfera o ionósfera
 - d. Estratósfera

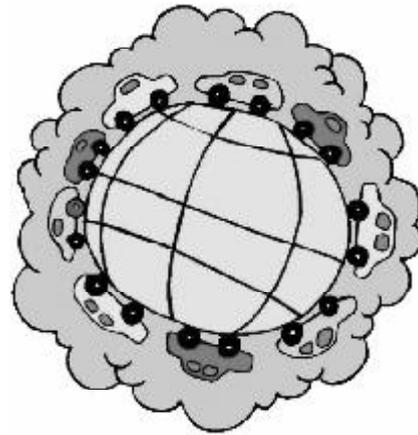
3. Las capas de la atmósfera de mayor importancia para el estudio del control de la contaminación del aire son:
 - a. Mesósfera y termósfera
 - b. Termósfera y tropósfera
 - c. Tropósfera y estratósfera
 - d. Estratósfera y mesósfera

4. La capa de ozono actúa como un filtro para evitar que lleguen hasta nosotros los rayos ultravioleta provenientes del sol se encuentra en la:
 - a. Tropósfera
 - b. Ionósfera
 - c. Mesósfera
 - d. Estratósfera



CAPÍTULO 3

FUENTES CONTAMINANTES DEL AIRE



Fuente: <http://www.shifting-gears.com/>

INTRODUCCIÓN

Los contaminantes presentes en la atmósfera proceden de dos tipos de fuentes emisoras bien diferenciadas: las naturales y las antropogénicas o artificiales. Esta última se refiere a las actividades humanas. Las emisiones naturales provienen fundamentalmente de los volcanes, incendios forestales y descomposición de la materia orgánica en el suelo y en los océanos. En el cuadro 3-1 se muestra la proporción entre las emisiones naturales y antropogénicas para los distintos contaminantes.

Las cifras muestran la gran importancia que, en cuanto a emisiones globales, tienen las fuentes naturales de emisión de contaminantes en relación con los antropogénicos, excepto en el caso de las emisiones de anhídrido sulfuroso en que casi se igualan ambas.

Cuadro 3-1. Focos de emisión de contaminantes

FOCOS DE EMISIÓN		
Contaminante	Antropogénicos (%)	Naturales (%)
Aerosoles	11.3	88.7
SOx	42.9	57.1
CO	9.4	90.6
NO	11.3	88.7
HC	15.5	84.5

Fuente: National Geographic - Noviembre 2000



FUENTES NATURALES

Son factores que contaminan independientemente de las actividades humanas, como los vientos que producen polvaredas, las erupciones volcánicas, la erosión del suelo, los incendios forestales.

FUENTES ARTIFICIALES

Son las que contaminan a causa de actividades humanas. Comprende las fuentes fijas y móviles.

- **Fuentes Fijas o Estacionarias.** Es toda instalación establecida en un solo lugar y que tiene como propósito desarrollar procesos industriales, comerciales, de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. Incluyen a los sectores: químico, petrolero, pinturas y tintas, de automóviles, de papel, del acero, del vidrio, de la generación de la electricidad, del cemento, etc.
- **Fuentes Móviles.** Se consideran los vehículos automotores que circulan por carretera tales automóviles camiones, autobuses y motocicletas.

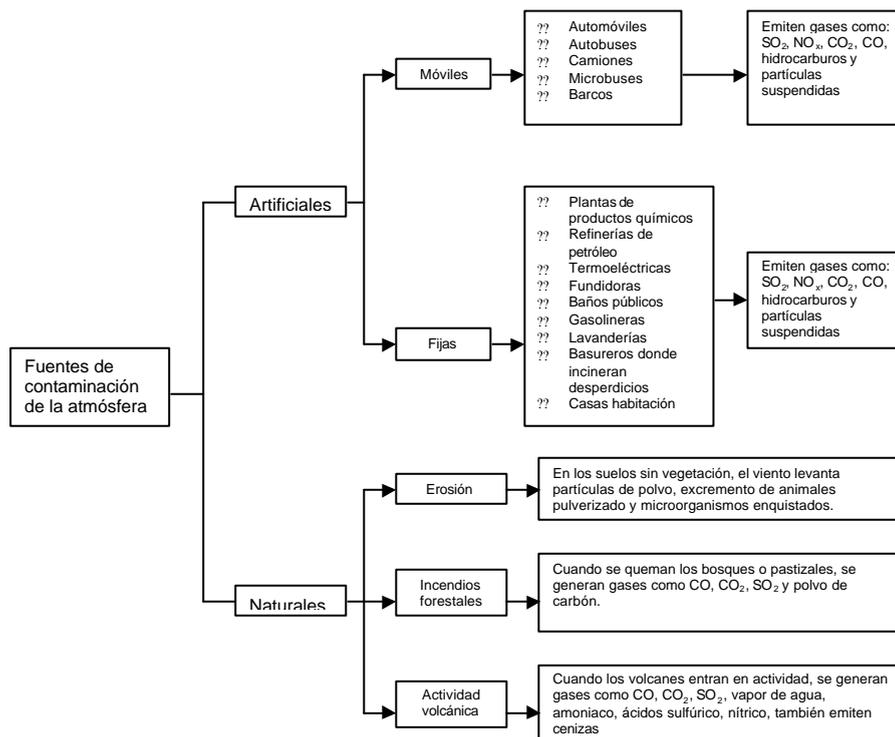
Las emisiones más comunes de los vehículos automotores son: las del tubo de escape, las emisiones evaporativas provenientes de fugas del combustible que

Cuadro 3-2. Fuentes naturales de contaminación

FUENTE	CONTAMINANTES
Volcanes	Óxidos de azufre, partículas
Fuegos forestales	Monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas
Vendavales	Polvo
Plantas (vivas)	Hidrocarburos, polen
Plantas (en descomposición)	Metano, sulfuro de hidrógeno
Suelo	Virus, polvo
Mar	Partículas de sal

Fuente: National Geographic - Noviembre 2000

Cuadro 3-3. Fuentes de contaminación de la atmósfera



ocurren cuando está operando el motor, las emisiones del tanque de combustible del vehículo por el aumento de la temperatura ambiente. Las emisiones que se presenta cuando el motor no está en operación y se deben a fugas de combustible. Las emisiones cuando el vehículo está en reposo en las gasolineras, durante la recarga de combustible.

PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN

1. Un ejemplo de fuente fija de contaminantes del aire es:
 - a. Un grupo de automóviles
 - b. Volcanes
 - c. Una planta de generación de electricidad
 - d. a y c

2. El automóvil emite únicamente monóxido de carbono.
 - a. Verdadero
 - b. Falso

3. La principal fuente móvil de contaminación del aire son:
 - a. Camiones diesel
 - b. Automóviles
 - c. Aviones
 - d. Cortadoras de césped

CAPÍTULO 4

CONTAMINANTES DEL AIRE



Fuente: www.terra.com.ve/aldeaeducativa/

INTRODUCCIÓN

Un contaminante del aire puede definirse como cualquier sustancia que al ser liberada en la atmósfera altera la composición natural del aire y puede ocasionar efectos adversos en los seres humanos, vegetación, animales o los materiales. Se desconoce la composición del aire no contaminado. Los seres humanos han vivido en el planeta durante miles de años y sus numerosas actividades han influido en la composición del aire antes de que fuese posible medir sus elementos constitutivos.

El aire es una mezcla compleja de muchas sustancias. Los principales elementos constitutivos del aire son el nitrógeno, oxígeno y vapor de agua. Aproximadamente 78 por ciento del aire es nitrógeno y 21 por ciento oxígeno. El uno por ciento restante incluye pequeñas cantidades de sustancias, como el dióxido

de carbono, metano, hidrógeno, argón, helio, etc. Existen cientos de contaminantes en el aire que se presentan en forma de partículas, gases y vapores.

MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

Es un gas incoloro, inodoro y ligeramente más denso que el aire, es emitido por fuentes naturales y antropogénicas. Las fuentes antropogénicas forman CO a partir de la combustión incompleta de combustibles carbonáceos en vehículos, sistema de calefacción, hornos, plantas de generación de energía térmica e incineradores. La conversión de CO a CO₂ en la atmósfera es lenta y tarda de 2 a 5 meses. En los centros urbanos de América Latina, los vehículos generan entre 60 y el 90% de las emisiones del CO.

ÓXIDOS DE AZUFRE

Los óxidos de azufre se forman al quemar azufre. El bióxido de azufre (SO₂), es un gas estable, no inflamable, no explosivo e incoloro, es extremadamente soluble en agua. El SO₂ se produce mediante la quema de combustibles fósiles que contienen azufre en la generación de energía térmica, cocción y transporte. En la atmósfera el bióxido de azufre se convierte en trióxido de azufre al reaccionar con el oxígeno. El SO₂ y el SO₃ reaccionan con la humedad del aire para formar ácido sulfuroso (H₂SO₃) y sulfúrico (H₂SO₄). La contribución del SO₂ en el sector transporte a las emisiones mundiales de SO₂ se estima entre un 2 y 6%.

ÓXIDOS DE NITRÓGENO

El óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N₂O), el trióxido de nitrógeno (N₂O₃), el pentóxido de nitrógeno (N₂O₅) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) se suelen considerar en conjunto con la denominación de NO_x. El NO es un gas incoloro e inodoro, tóxico a altas concentraciones y presente en el aire en menos de 0,50 ppm.

Los óxidos de nitrógeno son producidos por fenómenos naturales: relámpagos, erupciones volcánicas y la acción bacteriana en el suelo, y además por fuentes antropogénicas como los combustibles de motores de combustión interna. Una vez en la atmósfera puede participar en una serie de reacciones (en presencia

de radiación ultravioleta) producen smog fotoquímico lo que reduce la visibilidad. Puede también reaccionar con la humedad del aire y formas ácido nítrico en forma de aerosol.

Los vehículos automotores son los principales responsables de las emisiones. En el mundo el 43% de las emisiones provienen del sector transporte.

COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES

Este grupo incluye diferentes compuestos como el metano CH₄, otros hidrocarburos y los clorofluorocarburos (CFC).

Metano (CH₄)

Es el más abundante y más importante de los hidrocarburos atmosféricos. Es un contaminante que se forma de manera natural en diversas reacciones anaeróbicas del metabolismo. Descomposición anaeróbica de las plantas en pantanos, las reacciones de putrefacción y la digestión de las termitas forma metano en grandes cantidades. También se desprende del gas natural, del que es un componente mayoritario y en algunas combustiones.

Asimismo se forman grandes cantidades de metano en los procesos de origen humano hasta constituir, según algunos autores, cerca del 50% del emitido a la atmósfera. Desaparece de la atmósfera a consecuencia, principalmente, de reaccionar con los radicales OH formando, entre otros compuestos, ozono. Su vida media en la tropósfera es de entre 5 y 10 años. Se considera que no produce daños en la salud ni en los seres vivos, pero influye de forma significativa en el efecto invernadero y también en las reacciones estratosféricas.

Otros hidrocarburos

Los vehículos emiten hidrocarburos tóxicos como el benceno, aldehídos e hidrocarburos aromáticos. El benceno está presente entre un 85 a un 90% en los gases del tubo de escape y en la evaporación de la gasolina.

Clorofluorocarburos

Son especialmente importantes por su papel en la destrucción del ozono en las capas altas de la atmósfera. El incremento de átomos de cloro en esta

zona de la atmósfera está originado, principalmente, por unos compuestos químicos denominados CFC (clorofluorocarburos). Son productos muy poco reactivos, lo que hizo que fueran la solución óptima para la fabricación de frigoríficos, espuma, extintores, aerosoles, y como fumigantes en la agricultura (bromuro de metilo).

Sus cualidades son tan óptimas para estos usos que en las últimas décadas los hemos fabricado y usado en cantidades crecientes que, poco a poco, han ido acumulándose en la atmósfera. Pero su principal ventaja -la estabilidad- ha sido también el origen de sus dañinos efectos. Ascenden, sin ser destruidos, hasta la estratósfera y una vez allí, las radiaciones ultravioletas rompen las moléculas de CFC liberando los átomos de cloro responsables de la destrucción del ozono. El cloro atómico actúa como catalizador, por lo que un solo átomo puede atacar cientos de miles de moléculas de ozono.

OZONO

El ozono es un gas incoloro, formado por 3 átomos de oxígeno (O_3), que se encuentra en dos capas separadas de la atmósfera. El ozono que se encuentra en la capa exterior de la atmósfera (estratosfera), se forma por la fotólisis de oxígeno o de hidrocarburos que se encuentran en la naturaleza y protegen a la tierra de los rayos ultravioletas. En la capa inferior (tropósfera), el ozono a nivel del suelo se forma como resultado de la reacción entre los compuestos orgánicos volátiles (COV) y los NOx en presencia de luz solar y a altas temperaturas, es uno de los componentes del smog en zonas urbanas y los vehículos automotores son la principal fuente antropogénica de emisiones del COV y los NOx.

MATERIAL PARTICULADO

Son partículas en fase sólida o líquida que están dispersos en el aire. Se originan por fuentes naturales como polvos arrastrados por el viento, cenizas volcánicas, incendios forestales, sal marina y polen; y por fuentes antropogénicas como plantas de generación de energía térmica, la industria, las instalaciones comerciales y residenciales y los vehículos automotores que utilizan combustibles fósiles.

Las partículas se identifican como: partículas totales en suspensión (PTS) de diámetro inferior o igual a 100 μm , partículas inhalables en suspensión (MP-

10) con tamaño menores o iguales a 10 mm y partículas finas (MP-2,5) con tamaños menores o iguales a 2,5 mm.

Las partículas más pequeñas son más peligrosas para el hombre porque tienen mayor probabilidad de ingresar a la parte interior de los pulmones. Las MP-2,5, pueden permanecer suspendidas en el aire y recorrer grandes distancias. Los vehículos de gasolina tienen tasa de emisiones de MP más bajas que los vehículos diesel.

PLOMO

La fuente de contaminación del aire por plomo ha sido el uso de combustibles con plomo en automóviles. Se agrega tetraetilo de plomo a la gasolina para aumentar su octanaje la que mejora las características antidetonantes del combustible en los motores con encendido por chispa. El 70 a 75% de este plomo se transforma en plomo inorgánico en los motores de los vehículos después de la combustión y se emite a la atmósfera a través del tubo de escape junto con el 1% del plomo orgánico que pasa sin modificaciones a través del motor. Debido a que el plomo no se consume en el proceso de combustión, se emite como material particulado. El plomo inorgánico en el aire también se origina en las emisiones de la combustión del carbón y de varias industrias que utilizan este metal, como las fundidoras y las plantas de acumuladores de plomo.

El plomo emitido por la combustión de gasolina, o por emisiones industriales, es un metal peligroso y de carácter bioacumulativo.

RUIDO

Los sonidos muy fuertes provocan molestias que van desde el sentimiento de desagrado y la incomodidad hasta daños irreversibles en el sistema auditivo. La presión acústica se mide en decibelios (dB) y los especialmente molestos son los que corresponden a los tonos altos (dB-A). La presión del sonido se vuelve dañina a unos 75 dB-A y dolorosa alrededor de los 120 dB-A. Puede causar la muerte cuando llega a 180 dB-A. El límite de tolerancia recomendado por la Organización Mundial de la Salud es de 65 dB-A.

El oído necesita algo más de 16 horas de reposo para compensar 2 horas de exposición a 100 dB (discoteca ruidosa). Los sonidos de más de 120 dB (ban-

Cuadro 4-1. Escalas de ruidos y sus efectos

DB-A	Ejemplo	Efecto. Daño a largo plazo
10	Respiración. Rumor de hojas	Gran tranquilidad
20	Susurro	Gran tranquilidad
30	Campo por la noche	Gran tranquilidad
40	Biblioteca	Tranquilidad
50	Conversación tranquila	Tranquilidad
60	Conversación en el aula	Algo molesto
70	Aspiradora. Televisión alta	Molesto
80	Lavadora. Fábrica	Molesto. Daño posible
90	Moto. Camión ruidoso	Muy molesto. Daños
100	Cortadora de césped	Muy molesto. Daños
110	Bocina a 1 m. Grupo de rock	Muy molesto. Daños
120	Sirena cercana	Algo de dolor
130	Cascos de música estrepitosos	Algo de dolor
140	Cubierta de portaaviones	Dolor
150	Despegue de avión a 25 m	Rotura del tímpano

Fuente: <http://www.esi.unav.es/asignaturas/ecología/hipertexto/10Catm1/100ConAt.htm>

da ruidosa de rock o volumen alto en los auriculares) pueden dañar a las células sensibles al sonido del oído interno provocando pérdidas de audición.

CONTAMINANTES INTERIORES

Aunque en el pasado los esfuerzos por controlar la contaminación del aire se centraron principalmente en exteriores (o aire ambiental), ahora se está poniendo mayor énfasis en el aire de interiores. Muchas personas pasan la

mayor parte de su tiempo en interiores y por lo tanto son más propensas a los contaminantes del aire de interiores que a los de exteriores. Actualmente, se están llevando a cabo programas de investigación y normativos sobre sustancias en interiores, tales como el radón, asbesto, humo del tabaco de segunda mano, formaldehído, etc.

Radón

El radón es un gas que se presenta de forma natural, no tiene olor ni color y es radiactivo. Sus efectos sobre la salud humana son importantes porque es el segundo factor, después del cigarrillo, que produce cáncer al pulmón. Afortunadamente, los niveles de radón se pueden reducir con la circulación del aire y ventilación adecuadas.

Asbesto

El asbesto (o amianto) es un mineral fibroso incombustible y muy mal conductor del calor y la electricidad, lo que hace que sea muy usado como aislante en la construcción y algo también en los automóviles. Al ser fibroso desprende pequeñas partículas que entran en los pulmones, dañándolos, por lo que son responsables de enfermedades y muertes prematuras.

Humo de los Cigarrillos

El tabaco provoca más muertes y enfermedades que cualquier otro contaminante del ambiente. Está demostrado que causa importantes enfermedades del corazón y los vasos sanguíneos, cáncer de pulmón, bronquitis, enfisema, etc.

Se calcula que en todo el mundo, al menos 2,5 millones de fumadores mueren prematuramente por los efectos del humo de los cigarrillos. El fumador pasivo también está expuesto a un riesgo mayor de contraer estas enfermedades, siempre que se encuentre en un ambiente cargado varias horas al día.

Formaldehído

El formaldehído es un producto muy usado en la fabricación de contraplacados, aglomerados, espumas de relleno y aislamiento, etc. La exposición prolongada a niveles bajos de esta sustancia provoca problemas respiratorios, vértigos, dolores de cabeza, etc.

PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN

1. ¿Cómo se forma el ozono?
 - a. Por la reacción del oxígeno, nitrógeno y contaminantes.
 - b. Se forma como resultado de la reacción entre los compuestos orgánicos volátiles (COV) y los NOx en presencia de luz solar y a altas temperaturas.
 - c. Mediante la recolección de contaminantes en gotas de agua.
 - d. Se forma por la fotólisis de oxígeno o de hidrocarburos que se encuentran en la naturaleza.

2. Ceniza y polen son:
 - a. Contaminantes peligrosos del aire
 - b. Compuestos orgánicos volátiles
 - c. Partículas
 - d. b y c

3. En los centros urbanos de América Latina, los vehículos generan CO entre:
 - a. 60% y 90%
 - b. 2% y 6%
 - c. 40% y 43%
 - d. Ninguna de las anteriores

4. La mayor parte del metano que se emite a la atmósfera procede de la actividad industrial.
 - a. Verdadero
 - b. Falso

CAPÍTULO 5

EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE



Fuente: http://www.epchc.org/new_page_7.htm

INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas han tenido un efecto perjudicial en la composición del aire. La quema de combustibles fósiles y otras actividades industriales han cambiado su composición debido a la introducción de contaminantes, incluidos el dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas sólidas y líquidas conocidas como material particulado.

Aunque todos estos contaminantes pueden ser generados por fuentes naturales, las actividades humanas han aumentado significativamente su presencia en el aire que se respira.

SMOG

En las grandes ciudades no es extraño ver el cielo cubierto por aire denso y gris. Se trata del smog, que es una mezcla química de humo y niebla, que es extremadamente desagradable y nocivo para la salud. Es un tipo de polución atmosférica con concentraciones de óxido de sulfuro y de nitrógeno, hidrocarburos y millones de partículas de plomo, manganeso, cobre, níquel, cinc y carbón.

Todas estas sustancias tienen origen en las chimeneas de las industrias, los humos de las calefacciones, y miles de automóviles. La palabra smog, proviene del inglés *smoke*= humo y *fog*=niebla. Hay dos tipos muy diferentes de *smog*:

Smog Industrial

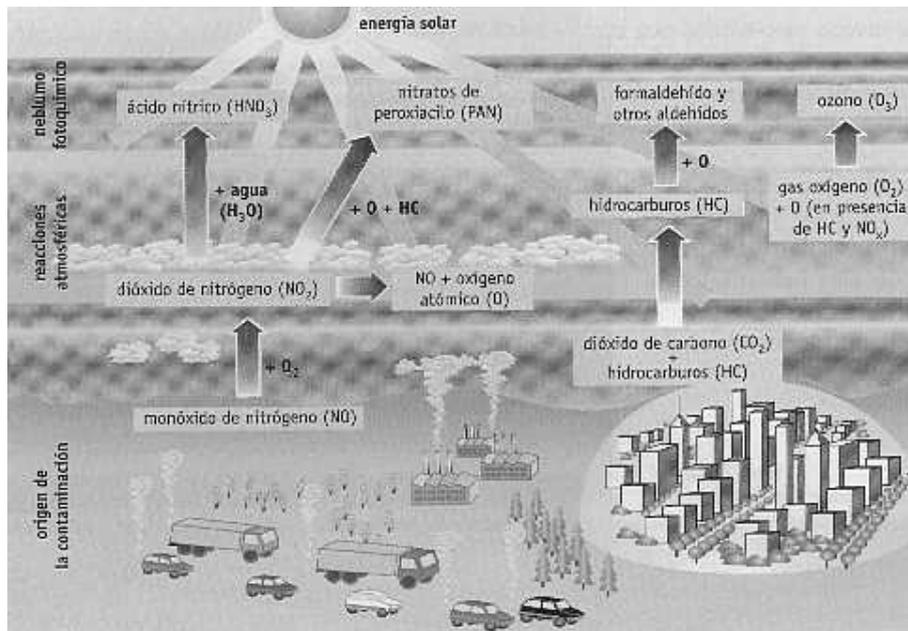
El llamado smog industrial de color gris fue muy típico en algunas ciudades grandes, como Londres o Chicago, con mucha industria, en las que, hasta hace unos años, se quemaban grandes cantidades de carbón y petróleo pesado con mucho azufre, en instalaciones industriales y de calefacción. En estas ciudades se formaba una mezcla de dióxido de azufre, gotitas de ácido sulfúrico y una gran variedad de partículas sólidas en suspensión, que originaba una espesa niebla cargada de contaminantes, con efectos muy nocivos para la salud de las personas y para la conservación de edificios y materiales.

Smog Fotoquímico

En muchas ciudades el principal problema de contaminación es el llamado smog fotoquímico. Con este nombre nos referimos a una mezcla de contaminantes (NO_x e hidrocarburos volátiles) con otros (ozono, peroxiacilo, radicales hidroxilo, etc.) que se forman por reacciones producidas por la luz solar al incidir sobre los primeros.

Esta mezcla oscurece la atmósfera dejando un aire teñido de color marrón rojizo cargado de componentes dañinos para los seres vivos y los materiales. Aunque prácticamente en todas las ciudades del mundo hay problemas con este tipo de contaminación, es especialmente importante en las que están en lugares con clima seco, cálido y soleado, y tienen muchos vehículos.

El verano es la peor estación para este tipo de polución y, además, algunos fenómenos climatológicas, como las inversiones térmicas, pueden agravar este



Fuente: <http://www.esi.unav.es/asignaturas/ecología/hipertexto/10Catm1/330Smog.htm>

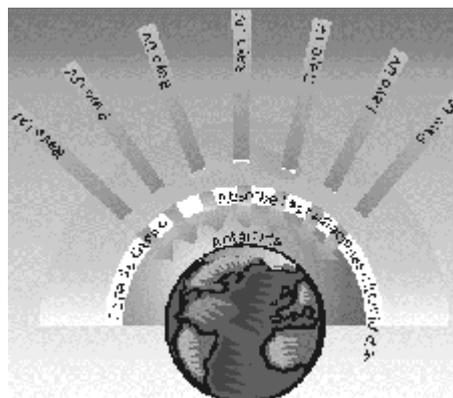
problema en determinadas épocas ya que dificultan la renovación del aire y la eliminación de los contaminantes.

DESTRUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO

El ozono se encuentra de dos maneras:

1. El ozono formado en la atmósfera (desde la superficie de la tierra hasta 15 kilómetros de altura), es muy nocivo para los seres vivos, pues además de ser un contaminante, participa en el efecto invernadero. En este caso es un contaminante que es llamado secundario porque no se emite directamente a la atmósfera, sino que se forma en el aire cuando los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno reaccionan bajo la luz del sol generalmente en los días tibios y soleados con temperaturas que oscilen entre los 24° y 32°C. En los últimos años los niveles de ozono han aumentado considerablemente.

2. Por otro lado, forma parte de las capas superiores de la atmósfera (se lo encuentra en la estratósfera unos 25 kilómetros de altura) y funciona como un compuesto vital, ya que ayuda a filtrar los rayos ultravioleta provenientes del sol y evita que el 90% de la radiación solar ultravioleta atraviese la atmósfera y cause algún daño en las cosechas o en las células de los organismos vivos, ya que puede provocar cáncer en la piel.



Fuente: http://www.sma.df.gob.mx/sma/ubea/educacion/aire/11capa_ozono.htm

El ozono es muy dañino si se encuentra en la troposfera, pero también nos protege de los rayos ultravioleta encontrándose en la estratósfera. En 1984 se descubrió un agujero en la capa estratosférica de ozono localizada sobre la Antártida. Esto era inesperado, a pesar de la advertencia de algunos científicos, planteada desde hacía décadas pero rechazada especialmente por la industria química, de que los clorofluorocarbonados (CFC) podrían dañar la capa de ozono.

Los CFC afectan la capa de ozono cuando, al llegar a la atmósfera, se rompen por medio de algunas reacciones químicas y producen monóxido de cloro (ClO), el cual reacciona con el ozono (O_3) quitándole un átomo de oxígeno y convirtiéndolo en una molécula diatómica (O_2), el cual no sirve para filtrar los rayos ultravioleta (UV) del sol.

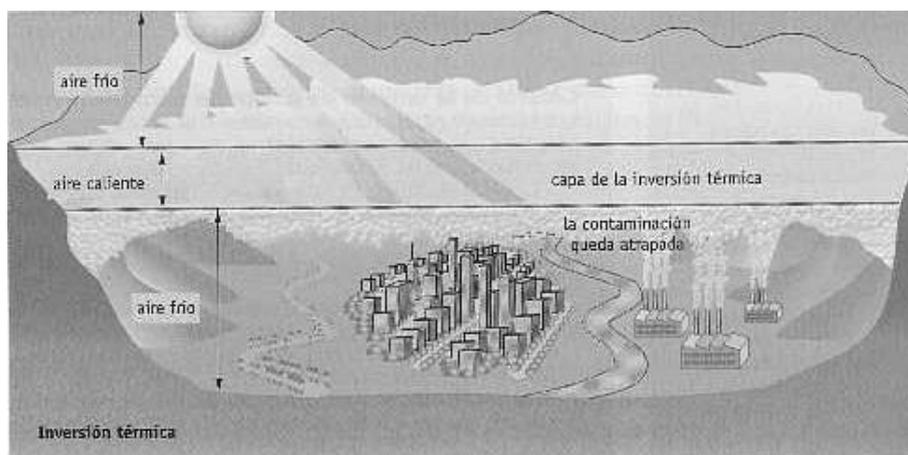
Se calcula que una molécula de monóxido de cloro (ClO) puede destruir millones de moléculas de ozono. Si a esto le agregamos que los clorofluorocarbonados (CFC) son moléculas muy estables, las cuales duran casi 20 años como tales en la atmósfera, entonces todavía en el futuro, infinidad de moléculas de la capa de ozono serán destruidas. Se piensa que de seguir la tasa actual de disminución de la capa de ozono, en corto plazo se habría de presentar graves efectos sobre los seres vivos, pues la exposición a los rayos ultravioleta puede causar cáncer de piel, cataratas y disfunciones del sistema inmunológico, así como, un rendimiento menor de los cultivos, y lo más grave, una disminución en la productividad del fitoplancton, principal productor del medio oceánico.

INVERSIÓN TÉRMICA

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

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

Cuando se emiten contaminantes al aire en condiciones de inversión térmica, se acumulan (aumenta su concentración) debido a que los fenómenos de trans-



Fuente: <http://www.esi.unav.es/asignaturas/ecología/hipertexto/10Catm1/330Inver.htm>

porte y difusión de los contaminantes ocurren demasiado lentos, provocando graves episodios de contaminación atmosférica de consecuencias graves para la salud de los seres vivos.

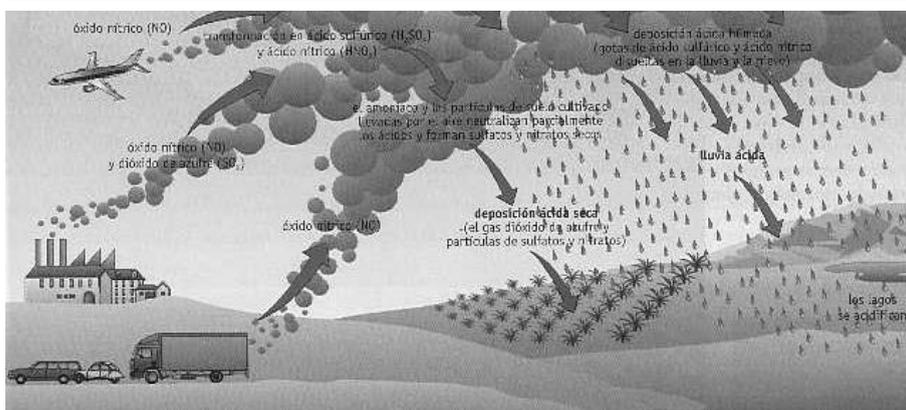
La inversión térmica es un fenómeno peligroso para la vida cuando hay contaminación porque al comprimir la capa de aire frío a los contaminantes contra el suelo la concentración de los gases tóxicos puede llegar hasta 14 veces más. Condiciones de inversión térmica de larga duración con contaminantes de bióxido de azufre y partículas de hollín causaron la muerte de miles de personas en Londres, Inglaterra en 1952 y en el Valle de Ruhr, Alemania en 1962. Generalmente, la inversión térmica se termina (rompe) cuando se calienta el suelo y vuelve a emitir calor lo cual restablece la circulación normal en la troposfera.

LLUVIA ÁCIDA

En la atmósfera los óxidos de nitrógeno (NOx) y azufre (SOx) son convertidos en ácido nítrico y sulfúrico que vuelven a la tierra con las precipitaciones de lluvia o nieve (lluvia ácida). Otras veces, aunque no llueva, van cayendo partículas sólidas con moléculas de ácido adheridas (deposición seca).

Los efectos de la lluvia ácida se presentan en:

- a. **Ecosistemas acuáticos.** En ellos está muy demostrada la influencia negativa de la acidificación. Fue precisamente observando la situación de cientos de lagos y ríos de Suecia y Noruega, entre los años 1960 y 1970, en los que se vio que el número de peces y anfibios iba disminuyendo de forma acelerada y alarmante, cuando se dio importancia a esta forma de contaminación. La reproducción de los animales acuáticos es alterada, hasta el punto de que muchas especies de peces y anfibios no pueden subsistir en aguas con pH inferiores a 5,5. Especialmente grave es el efecto de la lluvia ácida en lagos situados en terrenos de roca no caliza, porque cuando el terreno es calcáreo, los iones alcalinos son abundantes en el suelo y neutralizan, en gran medida, la acidificación; pero si las rocas son granitos, o rocas ácidas pobres en cationes, los lagos y ríos se ven mucho más afectados por una deposición ácida que no puede ser neutralizada por la composición del suelo.
- b. **Ecosistemas terrestres.** La influencia sobre las plantas y otros organismos terrestres no está tan clara, pero se sospecha que puede ser un factor muy importante de la llamada "muerte de los bosques" que afecta a grandes extensiones de superficies forestales en todo el mundo. También parece



Fuente: <http://www.esi.unav.es/asignaturas/ecología/hipertexto/10Catm1/330Inver.htm>

muy probable que afecte al ecosistema terrestre a través de los cambios que produce en los suelos, pero se necesita seguir estudiando estos temas para conocer mejor cuales pueden ser los efectos reales.

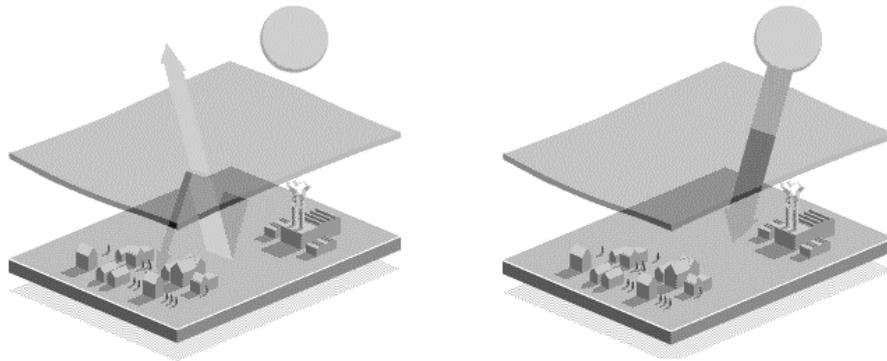
- c. Edificios y construcciones.** La corrosión de metales y construcciones es otro importante efecto dañino producido por la lluvia ácida. Muchos edificios y obras de arte situadas a la intemperie se están deteriorando decenas de veces más aprisa que lo que lo hacían antes de la industrialización y esto sucede por la contaminación atmosférica, especialmente por la deposición ácida.

EFEECTO INVERNADERO

El vapor de agua, el dióxido de carbono (CO₂) y el gas metano forman una capa natural en la atmósfera terrestre que retiene parte de la energía proveniente del Sol. El uso de combustibles fósiles y la deforestación ha provocado el aumento de las concentraciones de CO₂ y metano, además de otros gases, como el óxido nítrico, que aumentan el efecto invernadero.

La superficie de la Tierra es calentada por el Sol. Pero ésta no absorbe toda la energía sino que refleja parte de ella de vuelta hacia la atmósfera.

Alrededor del 70% de la energía solar que llega a la superficie de la Tierra es devuelta al espacio. Pero parte de la radiación infrarroja es retenida por los



Fuente: http://www.bbc.co.uk/spanish/especiales/clima/ghouse_4.shtml

gases que producen el efecto invernadero y vuelve a la superficie terrestre. Como resultado del efecto invernadero, la Tierra se mantiene lo suficientemente caliente como para hacer posible la vida sobre el planeta.

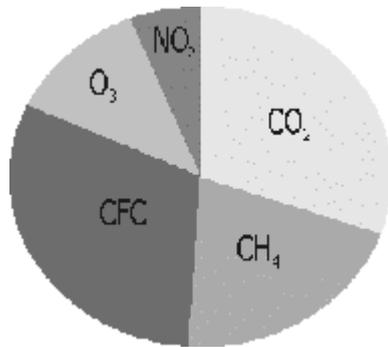
De no existir el fenómeno, las fluctuaciones climáticas serían intolerables. Sin embargo, una pequeña variación en el delicado balance de la temperatura global puede causar graves estragos. En los últimos 100 años la Tierra ha registrado un aumento de entre 0,4 y 0,8°C en su temperatura promedio.

Es causado por el aumento en la concentración de los gases de invernadero: el dióxido de carbono (CO_2), los clorofluorocarbonados (CFC), el metano (CH_4), el óxido de nitrógeno (N_2O) y el ozono de la tropósfera.

La radiación solar pasa a través de ellos, pero atrapan y conservan el calor de la radiación infrarroja reflejada por la superficie del suelo, aumentando así la temperatura de la atmósfera baja. La influencia de cada uno de estos gases en el efecto de invernadero se ha calculado en porcentajes que muestra la siguiente figura.

CAMBIO CLIMÁTICO

Por lógica muchos científicos piensan que a mayor concentración de gases con efecto invernadero se producirá mayor aumento en la temperatura en la Tierra. A partir de 1979 los científicos comenzaron a afirmar que un aumento al



CO₂ Causa alrededor del 30% del efecto

CH₄ Causa alrededor del 20% del efecto

CFC Causa alrededor del 30% del efecto

O₃ Causa alrededor del 12% del efecto

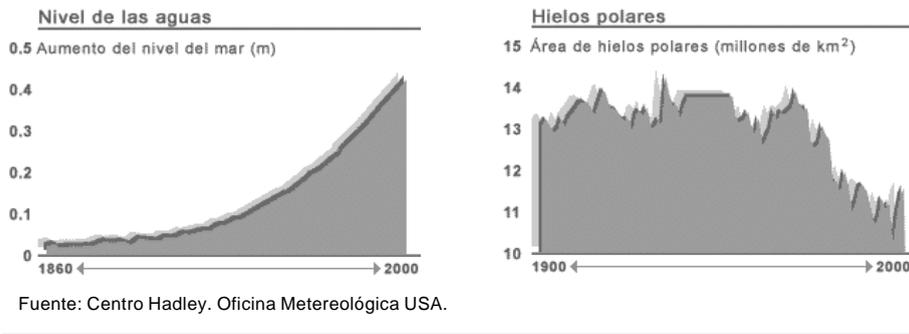
N₂O Causa alrededor del 6% del efecto

Fuente: <http://www.sma.df.gob.mx/sma/ubea/educacion/aire/13inverna.htm>

doble en la concentración del CO₂ en la atmósfera supondría un calentamiento medio de la superficie de la Tierra de entre 1,5 y 4,5 °C.

Estudios más recientes sugieren que el calentamiento se produciría más rápidamente sobre tierra firme que sobre los mares. Asimismo el calentamiento se produciría con retraso respecto al incremento en la concentración de los gases con efecto invernadero. Al principio los océanos más fríos tenderán a absorber una gran parte del calor adicional retrasando el calentamiento de la atmósfera. Sólo cuando los océanos lleguen a un nivel de equilibrio con los más altos niveles de CO₂ se producirá el calentamiento final.

No es posible predecir con gran seguridad lo que pasaría en los distintos lugares, pero es previsible que los desiertos se hagan más cálidos pero no más húmedos, lo que tendría graves consecuencias en el Oriente Medio y en África donde el agua es escasa. Entre un tercio y la mitad de todos los glaciares del mundo y gran parte de los casquetes polares se fundirían, poniendo en peligro las ciudades y campos situados en los valles que se encuentran por debajo del glaciar. Grandes superficies costeras podrían desaparecer inundadas por las aguas que ascenderían de 0,5 a 2 m., según diferentes estimaciones. Unos 118 millones de personas podrían ver inundados los lugares en los que viven por la subida de las aguas. Tierras agrícolas se convertirían en desiertos y, en general, se producirían grandes cambios en los ecosistemas terrestres. Estos cambios supondrían una gigantesca convulsión en nuestra sociedad, que en un tiempo relativamente breve tendría que hacer frente a muchas obras de contención del mar, emigraciones de millones de personas, cambios en los cultivos, etc.



VISIBILIDAD

La presencia de contaminantes en la atmósfera produce la absorción y dispersión de la luz solar, acompañados de una notable reducción de la visibilidad. Los aerosoles de tamaños comprendidos entre 1.4 y 0.8 micras son los que tienen una mayor influencia en la dispersión de la luz solar, debido a la proximidad de su tamaño a la longitud de onda de la luz visible.

Se ha observado una estrecha relación entre la disminución de la visibilidad y la presencia de sulfatos en la atmósfera. Una experiencia realizada en Suecia, ha demostrado que los períodos de mínima visibilidad se corresponden con concentraciones máximas de sulfatos y nitratos presentes en la atmósfera.

Los gases presentes normalmente en la atmósfera no absorben la luz visible. El NO₂ en concentraciones altas puede tener un efecto significativo ya que absorbe la franja azul-verde del espectro visible de la radiación solar. Consecuencia de esta absorción es el que la atmósfera de las grandes ciudades adquiera una coloración amarilla-parduzca-rojiza cuando se presentan concentraciones de NO₂ elevadas.

EROSIÓN

El viento es un eficiente agente de erosión y su acción, particularmente en zonas de climas áridos, semiáridos y desérticos, es responsable del transporte y deposición de grandes volúmenes de sedimentos con desarrollo de un paisaje eólico típico.

El viento transporta las partículas de los suelos de tres maneras:

- Por arrastre: las partículas más gruesas (500 - 2000 micrones).
- Por saltación: las partículas medianas (100 - 500 micrones).
- En suspensión: las partículas pequeñas o livianas (< 100 micrones).

La erosión eólica se ejerce mediante dos procesos: Abrasión y deflación. Cuando las partículas sueltas que se hallan sobre la superficie del suelo son barridas, arrastradas o levantadas por el aire, estamos hablando de deflación (derivado del latín «soplar»); este proceso actúa donde la superficie del terreno está completamente seca y recubierta de pequeños granos de arena sueltos procedentes de la meteorización de la roca o previamente depositadas por el agua en movimiento, el hielo o las olas.

Por lo tanto, los cursos de los ríos secos, las playas y las áreas recientemente cubiertas por depósitos glaciares son muy susceptibles a la deflación; este proceso eólico de deflación es selectivo. Las partículas más finas, las que constituyen el barro, la arcilla y los limos, son levantadas muy fácilmente y transportadas en suspensión. Los granos de arena se mueven únicamente si el viento es fuerte y tienden a desplazarse a poca altura del suelo. La grava y los cantos de 5 a 8 mm de diámetro suelen rodar por el suelo llano cuando el viento es muy intenso, pero no recorren grandes distancias ya que es muy fácil que queden retenidos en agujeros.

EFFECTOS EN LA SALUD

La contaminación del aire tiene un efecto directo sobre la salud humana. En casos extremos, ha causado muertes como resultado de la combinación de características geográficas inusuales con factores climáticos. Los contaminantes atmosféricos liberados por los vehículos automotores tienen diferentes efectos nocivos sobre la salud de los seres humanos. La inhalación es la ruta principal de exposición a los contaminantes del aire originado por las emisiones de los vehículos.

Asimismo existen otras vías de exposición, como la contaminación del agua potable, la contaminación de los alimentos y la absorción por la piel. La exposición por inhalación afecta directamente los sistemas respiratorio, nervioso y cardiovascular de los seres humanos, provocando deficiencias pulmonares, distintas enfermedades e incluso la muerte. Los contaminantes de aire, tanto gaseosos como particulados, pueden tener efectos negativos sobre los pulmones.

La contaminación del aire ocurre tanto en exteriores (ambiental) como en interiores. Los efectos de la contaminación del aire sobre la salud varían enormemente de persona en persona. Los más afectados por la contaminación del aire son los ancianos, lactantes, mujeres embarazadas y enfermos crónicos del pulmón y corazón.

Las personas que hacen ejercicios al aire libre también están propensas pues respiran más rápida y profundamente, lo que permite el ingreso de más contaminantes a los pulmones. Los corredores y ciclistas que se ejercitan en áreas de gran tránsito se pueden causar más daño que beneficio.

A continuación se mencionan algunos contaminantes y su efecto en la salud.

Cuadro 5-1. Efectos en la salud por exposición al monóxido de carbono

Concentración de Carboxihemoglobina en la sangre(%)	EFEECTO OBSERVADO
2,3 - 4,3	Disminución en la capacidad de realizar un ejercicio máximo en un corto tiempo en individuos jóvenes saludables
2,9 - 4,5	Disminución en la duración de ejercicios, debido a dolor de pecho (angina), en pacientes con enfermedades al corazón
5 - 5,5	Disminución en la percepción visual y auditiva. Pérdida en la capacidad sensorial, motora y de vigilancia
5,0 - 17,0	Disminución en el consumo máximo de oxígeno durante el ejercicio
7,0 - 20,0	Dolor de cabeza, decaimiento
20,0 - 30,0	Mareos, náuseas, debilidad
30,0	Confusión, colapso durante el ejercicio
40,0	Pérdida de conciencia y muerte si la exposición continúa
50,0	Muerte

Fuente: <http://www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingma/actividades/peaton2/peaton2000salud.htm>

Monóxido de Carbono

El efecto a corto plazo es similar a la sensación de fatiga que se experimenta en altura o cuando se padece de anemia.

El CO afecta el suministro de Oxígeno en el torrente sanguíneo, se une a la hemoglobina formando la carboxihemoglobina (CoHb). La exposición al monóxido de carbono puede exacerbar las enfermedades del corazón y del pulmón. La ingesta de CO afecta la percepción y el pensamiento, desacelera los reflejos, y puede causar mareos, angina, inconsciencia o la muerte. El peligro es más evidente en neonatos, neonatos, ancianos y en quienes sufren de enfermedades crónicas.

Oxidos de Azufre

El SO₂, un gas irritante que se absorbe por la nariz y en las superficies acuosas de las vías respiratorias superiores, está asociado con una disminución de la función pulmonar y un mayor riesgo de mortalidad y morbilidad. Los efectos adversos para la salud del SO₂ son, entre otros, tos, flema, malestar en el pecho y bronquitis. Algunas de las emisiones de SO₂ procedentes de fuentes móviles o fijas son transformadas en la atmósfera en sulfatos en aerosoles que guardan relación con la mortalidad y la morbilidad.

Dióxido de Nitrógeno

El NO₂ es un gas irritante que se absorbe en la membrana mucosa de las vías respiratorias. El efecto del NO₂ más adverso para la salud se produce en la intersección de las vías respiratorias y la región de intercambio gaseoso de los pulmones. Las vías superiores se ven menos afectadas porque el NO₂ no es muy soluble en superficies acuosas.

La exposición al NO₂ está vinculada a una mayor susceptibilidad a las infecciones respiratorias, una mayor resistencia de las vías respiratorias en los asmáticos y una disminución de la función pulmonar. La exposición breve al NO₂ se ha vinculado a una amplia gama de enfermedades de las vías respiratorias inferiores en los niños (tos, descarga nasal y dolor de garganta son las más comunes) así como a una mayor sensibilidad al polen y al polvo de las zonas urbanas.

Los efectos para la salud de la exposición al NO₂ por razones laborales abarcan desde la inflamación de la membrana mucosa del árbol traqueobronqueal a la bronquitis, la bronconeumonía y el edema pulmonar agudo.

Cuadro 5-2. Efectos en la salud por exposición al bióxido de nitrógeno

Concentración (ppm)	Tiempo de exposición	EFECTO OBSERVADO
5	14 horas	Individuos normales, Incremento de la resistencia de las vías aéreas. Aumento de la hiperreactividad bronquial
2.5	2 horas	Individuos normales: Incremento de la resistencia de las vías aéreas.
1	2 horas	Individuos normales: Pequeño cambio en la capacidad vital forzada.
0.5-5	3 – 60 min	Individuos con bronquitis crónica: Incremento de la resistencia de las vías aéreas
0.5	20 min.	Individuos asmáticos: con 10 minutos de ejercicio moderado: Disminución de la tasa máxima de flujo expiratorio

Fuente: <http://www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingma/actividades/peaton2/peaton2000salud.htm>

Compuestos Orgánicos Volátiles

El benceno tiene efectos tóxicos y carcinógenos, aproximadamente el 50% del benceno inhalado es absorbido. Parte del benceno absorbido es exhalado por la respiración y eliminado por las vías urinarias. El benceno que permanece en el organismo se concentra en el tejido graso y en la médula ósea.

Los efectos tóxicos están vinculados al sistema nervioso central así como a los sistemas hematológico e inmunológico. Los efectos tóxicos sobre el sistema nervioso han sido observados tras la exposición a concentraciones mayores a 3.200 mg/m³ (1.000 ppm). En estudios de exposición por razones de trabajo a altos niveles de benceno se ha encontrado que puede lesionar las vías respiratorias, el tejido pulmonar y la médula Ósea y que puede provocar la muerte. Entre los efectos carcinógenos se incluye la leucemia. Se estima que la exposición durante toda la vida a 1 mg/m³ de benceno eleva el riesgo de que se produzcan de 0,08 a 10 muertes adicionales por leucemia por cada millón de habitantes.

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos, absorbidos en los pulmones y en los intestinos, y metabolizados en el organismo, son mutagénicos y carcinógenos. En estudios epidemiológicos se ha identificado un riesgo 50% mayor de cáncer de la vejiga en los conductores de camiones y repartidores expuestos a los gases del escape de los motores diesel.

Los aldehídos son absorbidos en las vías respiratorias y en el tracto gastrointestinal y son metabolizados. Una vez metabolizados son excretados del organismo. Los efectos nocivos de los formaldehídos sobre la salud incluyen la irritación de ojos y nariz (a una concentración de 0,06 mg/m³), irritación de las membranas mucosas y alteración en la respiración (a una concentración de 0,12 mg/m³), tos, náusea y disnea. La exposición al formaldehído por razones de trabajo esta vinculada al riesgo de cáncer.

Clorofluorocarbonos, se sospecha que la exposición a una mayor radiación de UV-B eleva el riesgo de cáncer de piel y de enfermedades oculares (especialmente las cataratas) y afecta al sistema inmunológico.

Ozono

Uno de los contaminantes inducidos por el tránsito más generalizado es el ozono que se forma en la troposfera, uno de los ingredientes principales del *smog* urbano. Se han observado efectos nocivos del ozono sobre la salud incluso en períodos de exposición de apenas 5 minutos. Estos efectos se vuelven mucho más pronunciados en períodos más largos (por ejemplo, más de 6 horas) a niveles de ejercicio moderados. Se han notificado cambios en la función pulmonar en exposiciones de una a tres horas durante el ejercicio. El ozono puede provocar daños graves a los tejidos pulmonares y reducir las defensas contra las bacterias y los virus.

Se han registrado efectos nocivos a corto plazo sobre la salud en exposiciones de una hora a concentraciones de ozono de apenas 200 mg/ m³. Estos efectos incluyen, entre otros, irritación de los ojos, la nariz y la garganta, tos, sequedad de la garganta, dolores en el pecho, mayor producción mucosa, opresión en el pecho, lasitud, malestar y náusea. Se ha notificado una reducción en las funciones pulmonares de niños y jóvenes en concentraciones promedio de ozono en una hora comprendidas entre 160 mg/m³ y 300 mg/m³.

Cuadro 5-3. Efectos en la salud por exposición al Ozono

Concentración (ppm)	Tiempo de exposición	EFFECTO OBSERVADO
0.08 - 0,15		Tos y dolor de cabeza
0,12	1 - 3 horas	En individuos sanos, durante el ejercicio: Disminuye la Tasa Máxima de Flujo respiratorio y la Capacidad Vital Forzada. Incrementa la sensibilidad de las vías aéreas, lo cual podría significar un aumento en la respuesta a otros contaminantes.
0,12	2 - 5 horas	Disminución de la función pulmonar en niños y adultos, durante ejercicio fuerte
0,24	1 - 3 horas	En individuos sanos, durante el ejercicio: Incremento en la frecuencia respiratoria, disminución en la resistencia de las vías aéreas, disminución de la función pulmonar.

Fuente: <http://www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingma/actividades/peaton2/peaton2000salud.htm>

Cuadro 5-4. Efectos en la salud por exposición a material particulado

Concentración (g/m3)	EFFECTO OBSERVADO	Impacto
200	Disminución en la capacidad respiratoria	Moderado
250	Aumento de enfermedades respiratorias en niños y ancianos	Moderado
400	Afecta a toda la población	Grave
500	Aumento de mortalidad en adultos mayores y enfermos	Muy grave

Fuente: <http://www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingma/actividades/peaton2/peaton2000salud.htm>

Material Particulado

Las partículas de más de 10 μm de diámetro, inhaladas por la nariz, se depositan en la sección extratorácica de las vías respiratorias, en tanto que las fracciones de 2,5 μm a 10 μm se depositan cerca de las vías aéreas finas. Las MP-2,5 preocupan más porque pueden evadir el sistema de defensa del aparato respiratorio humano y llegar al tejido pulmonar, donde pueden permanecer alojadas durante años o, en el caso de las partículas solubles, pueden ser absorbidas en el torrente sanguíneo (ALA 1997). La deposición de las MP se incrementa cuando se respira por la boca.

La presencia de partículas en el aire ambiente se ha vinculado a una mayor mortalidad y morbilidad y una función pulmonar disminuida. Se han observado efectos nocivos en la salud de niños y adultos: tos y enfermedades respiratorias como la neumonía, el asma y la bronquitis.

Plomo

La mayor parte del plomo en el aire ambiente se encuentra en forma de partículas finas con un diámetro aerodinámico inferior a 10 μm (MP-10). El aire del ambiente también contiene compuestos de plomo orgánico en forma de gases. Los vehículos automotores son la fuente principal de plomo en el aire ambiente de muchos centros urbanos de América Latina, donde todavía se utiliza gasolina con aditivos de plomo. Los adultos retienen del 20% al 60% de partículas transportadas por el aire, y los niños tienen una tasa de deposición pulmonar que puede ser 2,7 veces más alta que la de los adultos en base a la unidad de masa corporal. La proporción de plomo que se absorbe en el tracto gastrointestinal es de alrededor de 10% a 15% para los adultos y hasta el 50% para los niños.

La absorción de plomo se eleva en dietas con bajos niveles de calcio, vitamina D, hierro y zinc. El plomo absorbido en el organismo se distribuye en los huesos, los dientes, la sangre y los tejidos blandos. La mayor parte se concentra en los huesos (70% en los niños y 95% en los adultos). El plomo que no es absorbido es excretado en las heces, y del 50% al 60% del plomo absorbido es descargado por las vías urinarias. El plomo orgánico es absorbido principalmente por los pulmones, por las vías respiratorias y también por la piel. Con base en una revisión de estudios epidemiológicos, se encontró una asociación entre un incremento de 1 mg/m^3 de las concentraciones de plomo en el aire ambiente y un incremento de los niveles de este metal en la sangre de 0,3 mg/dl a 0,5 mg/dl .

Cuadro 5-5. Efectos en la salud por exposición al plomo

Concentración de plomo en la sangre (g/100ml)	Efectos observados
10	Inhibición de la actividad de la enzima AAL=D Edad gestacional reducida (exposición prenatal) Bajo peso al nacer (Exposición prenatal) Retardo en el crecimiento
12	Interferencia en el metabolismo de la vitamina D
15 - 20	Elevación de protoporfirinas eritrocitarias Alteraciones electrofisiológicas en el SNC
20	Alteraciones conductuales, déficit en la atención
30	Disminución en la conducción nerviosa periférica
40	Aumento del AAL en el suero y del AAL-U Aumento de las CP-0 Reducción en la producción de hemoglobina Velocidad de conducción nerviosa periférica reducida Alteraciones en el aprendizaje Nefropatía (aminoaciduria) Síntomas gastrointestinales
50	Disminución marcada del cociente de inteligencia
70	Anemia franca Nefropatía grave
80	Encefalopatía Daño cerebral grave Retardo mental grave

Fuente: <http://www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingma/actividades/peaton2/peaton2000salud.htm>

Se han observado efectos adversos de la exposición al plomo en niños pequeños, mujeres en edad reproductiva y hombres adultos. Los recién nacidos y los niños pequeños son los más vulnerables. Las exposiciones a los niveles de plomo que comúnmente se encuentran en los medios urbanos constituyen un peligro significativo para los niños, sobre todo los menores de 6 años. Los niños con altos niveles de plomo acumulado en los dientes de leche tienen un cociente intelectual más bajo, pérdida de la memoria de corta duración, dificultades para leer y deletrear, impedimentos de la función visomotora, integración deficiente de la percepción, indisciplina en clase y alteraciones en el tiempo de reacción (USEPA, 1990).

Con base en una revisión reciente de estudios epidemiológicos, se encontró que un incremento del nivel de plomo en la sangre de los niños de 10 mg/dl se

vinculaba a la reducción de 2,5 puntos del cociente intelectual (CDC 1991). Las mujeres adultas en edad reproductiva también se encuentran en un grupo de alto riesgo dado que los niveles de plomo de las gestantes están estrechamente correlacionados con los de los recién nacidos. Las personas que están expuestas al plomo en el trabajo, como los policías de tránsito que inhalan las partículas de plomo arrastradas por el aire, también padecen efectos perjudiciales en su salud. En los adultos, el plomo en la sangre está vinculado a una mayor incidencia de hipertensión arterial. No se han identificado aún umbrales de los efectos adversos del plomo sobre la salud.

PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN

1. Los compuestos sintéticos, tales como clorofluorocarbonos, están agotando la capa de ozono en la estratosfera
 - a. Verdadero
 - b. Falso

2. ¿Qué sistema del cuerpo humano está más directamente afectado por la contaminación del aire?
 - a. Sistema circulatorio
 - b. Sistema digestivo
 - c. Sistema respiratorio
 - d. Sistema nervioso

3. ¿Cómo se forma el smog?
 - a. Por la reacción de los contaminantes con la luz solar
 - b. Mediante la recolección de contaminantes en gotas de agua
 - c. Por la combinación de contaminantes, vapor de agua y ozono
 - d. Por la reacción del oxígeno, nitrógeno y contaminantes

4. La exposición de algunos contaminantes pueden ser dos a cinco veces mayor en interiores que exteriores.
 - a. Verdadero
 - b. Falso

5. La lluvia ácida se forma cuando se combinan contaminantes como óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno con agua en la atmósfera.
 - a. Verdadero
 - b. Falso

- 
- 
6. ¿Qué sistema en el cuerpo humano está más afectado por el plomo?
 - a. Aparato respiratorio
 - b. Aparato circulatorio
 - c. Sistema nervioso central
 - d. Sistema digestivo

 7. El sonido se vuelve dañino para la salud humana a partir de los 75 dB.
 - a. Verdadero
 - b. Falso

 8. Según la opinión más extendida, el cambio climático podría aumentar la temperatura de la Tierra en los próximos 100 años
 - a. Entre unos 1,5 y 4,5°C
 - b. Entre 1,3 y 4,4°C
 - c. Entre unos 1,5 y 4,9°C
 - d. Entre unos 1,1 y 4,5°C

CAPÍTULO 6

NORMAS DE LA CALIDAD DEL AIRE



Fuente: National Geographic - Noviembre 2000

INTRODUCCIÓN

La exigencia de un aire limpio y puro proviene, en principio, del público en general ante su creciente preocupación por los problemas de contaminación atmosférica originados como consecuencia de la evolución de la tecnología moderna y la previsión de que las cada vez mayores emisiones de contaminantes a la atmósfera alteren el equilibrio natural existente entre los distintos ecosistemas, afecten la salud de los humanos y a los bienes materiales o, incluso, provoquen cambios catastróficos en el clima terrestre.

La atmósfera terrestre es finita y su capacidad de autodepuración, aunque todavía no es muy conocida, también parece tener sus límites. La emisión a la atmósfera de sustancias contaminantes en cantidades crecientes como consecuencia de la expansión demográfica mundial y el progreso de la industria,

han provocado ya concentraciones de estas sustancias a nivel del suelo que han ido acompañadas de aumentos espectaculares de la mortalidad y morbilidad, existiendo pruebas abundantes de que, en general, las concentraciones elevadas de contaminantes en el aire atentan contra la salud de los seres humanos.

COMPOSICIÓN DEL AIRE

Cuando se habla de la contaminación del aire, se hace referencia a la alteración de su composición natural, el aire que se respira está compuesto principalmente por los siguientes gases:

Gases	Símbolo	Porcentaje
Nitrógeno	N ₂	78.08
Oxígeno	O ₂	20.95
Dióxido de carbono	CO ₂	0.03
Gases Raros y otros		0.94

Fuente: http://www.sma.df.gob.mx/sma/ubea/educacion/aire/04cont_aire.htm

Los gases raros son Helio (He), Neón (Ne), Argón (Ar), Kriptón (Kr) Xenón (Xe) y Radón (Rn), además la atmósfera contiene cantidades mínimas de metano, polvo, polen, cenizas volcánicas y vapor de agua.

GUÍAS Y NORMAS DE LA CALIDAD DEL AIRE

Las guías son recomendaciones para los niveles de exposición a contaminantes atmosféricos a fin de reducir los riesgos o proteger de los efectos nocivos. La Organización Mundial de la Salud (OMS), aplicado guías sobre la calidad del aire y varios de América Latina han establecido sus propias normas.

Las normas o estándares de la calidad del aire establecen los niveles de concentración máxima de contaminantes del aire, durante un periodo definido, que en su condición de cuerpo receptor es recomendable no exceder para evitar riesgo en la salud humana. (Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire. D.S. N° 074-2001-PCM).

La unidad en que se expresan normalmente estos niveles son microgramos de contaminante por metro cúbico de aire, medidos durante un periodo de tiempo determinado.

ESTÁNDARES NACIONALES DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE

El Consejo Nacional del Ambiente-Perú (CONAM), en Julio del 2001, aprobó por D.S. N° 074-2001-PCM, el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.

Los estándares de la calidad del aire consideran los niveles de concentración máxima de los contaminantes para un periodo determinado. En el cuadro 6-1 se muestran los estándares aprobados en dicho reglamento.

Cuadro 6-1. Estándares nacionales de la calidad ambiental del aire

Contaminantes	Periodo	Forma del estándar	
		Valor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Formato
Dióxido de azufre	Anual	80	Media aritmética anual
	24 horas	365	NE más de 1 vez al año
PM – 10	Anual	60	Media aritmética anual
	24 horas	150	NE más de 3 vez al año
Monóxido de carbono	8 horas	10 000	Promedio móvil
	1 hora	30 000	NE más de 1 vez al año
Dióxido de nitrógeno	Anual	100	Promedio aritmético anual
	1 hora	200	NE más de 24 veces/año
Ozono	8 horas	120	NE más de 24 veces/año
Plomo	Mensual	1,5	NE más de 4 veces/año

NE: No exceder

Fuente: Consejo Nacional del Ambiente-Perú (CONAM). Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad del Aire. 2001.

Cuadro 6-2. Estándares de calidad de aire para diferentes comunidades en ug/m³(ppm)

Contaminante	Tiempo promedio	BRASIL	CHILE	COLOMBIA	MÉXICO	PERÚ	VENEZUELA
Partículas suspendidas totales (PST)	Anual ^a	80	75	76.8	75 ^b		75
	24horas	240	260	400	260	300	260
Partículas fracción (PM10)	Anual ^a	50			50 ^b		
	24horas	150	150		150		
Bióxido de azufre (SO ₂)	Anual ^b	80 (0.03)	80 (0.03)	100 (0.04)	79 (0.03)	160 (0.06)	80 (0.03)
	24horas 1 hora	365 (0.14)	365 (0.14)	400 (0.15)	341 (0.13)		365 (0.14)
Bióxido de nitrógeno (NO ₂)	Anual ^b	100 (0.05)	100 (0.05)	100 (0.05)			100 (0.05)
	24horas 1 hora	320	470 (0.25)		395 (0.21)		320
Ozono (O ₃)	8 horas 1 hora	160 (0.08)	160 (0.08)	170 (0.09)	216 (0.11) ^c		200 (0.10)
Hidrocarburos (no metano)	3 hora	160					160
Monóxido de carbono (CO)	Media diaria						
	8 horas ^b 1 hora	10 000 (9) 40 000 (35)	10 000 (9) 40 000 (35)	15 000 50 000	12 595 (11)		10 000 35 000
Plomo	Trimestral Anual				1.5		2

^a Media Geométrica.

^b Media Aritmética

^c No debe excederse más de una vez cada tres años. Todos los demás valores horarios y de 24 horas, no deberán de excederse más de una vez por año.

ESTÁNDARES DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE PARA OTRAS COMUNIDADES

Los estándares de calidad de aire son valores límite para la prevención de efectos ambientales en la salud, los cuales se derivan de estudios toxicológicos y epidemiológicos. Los estándares de calidad del aire son lineamientos promulgados por los gobiernos, en base a las concentraciones actuales de los contaminantes, a la disponibilidad de tecnologías para su cumplimiento, a los costos de control, y a las variables socioeconómicas y culturales del País.

En los últimos 10 años al definir a las partículas suspendidas totales PST, han especificado los símbolos PM10 como partículas con 10 micras o menos de diámetro y PM2.5 partículas con 2.5 micras o menos de diámetro. La razón de esta especificación se debe a que las partículas más pequeñas son más peligrosas para la salud, por que son capaces de alcanzar la zona inferior de los pulmones.

PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN

1. Los estándares de calidad del aire se refiere a:
 - a. Concentración máxima de contaminante
 - b. Concentración promedio del contaminante
 - c. Concentración máxima en un periodo definido
 - d. Recomendaciones para los niveles de exposición

2. PM10 corresponde a:
 - a. Partículas en suspensión con diámetro de 10 micras
 - b. Partículas en suspensión con diámetro mayor a 10 micras
 - c. Partículas en suspensión con diámetro menor a 10 micras

 - d. Partículas en suspensión con diámetro igual y menor a 10 micras



CAPÍTULO 7

TRANSPORTE Y DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES DEL AIRE



Fuente: <http://geoimages.berkeley.edu/Geolimages/>

INTRODUCCIÓN

El transporte y dispersión de contaminantes del aire ambiental están influenciados por complejos factores: las variaciones globales y locales del clima y las condiciones topográficas locales. En una escala mundial, las variaciones del clima influyen sobre el movimiento de los contaminantes, por ejemplo, la dirección predominante de los vientos en Centroamérica es de este a oeste y en Norteamérica y Sudamérica es de Oeste a Este. A nivel local, los principales factores del transporte y dispersión son el viento y la estabilidad.

La dispersión de contaminantes de una fuente depende de la cantidad de turbulencia en la atmósfera cercana. La turbulencia puede ser creada por el movimiento horizontal y vertical de la atmósfera.

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL TRANSPORTE Y DISPERSIÓN

El Viento

Es el movimiento horizontal lo que comúnmente se llama viento. La velocidad del viento puede afectar en gran medida la concentración de contaminantes en un área. Mientras mayor sea la velocidad del viento, menor será la concentración de contaminantes. El viento diluye y dispersa rápidamente los contaminantes en el área circundante.

El viento es causado por las diferencias en la presión atmosférica. La presión es el peso de la atmósfera en un punto dado. La altura y temperatura de una columna de aire determinan el peso atmosférico. Debido a que el aire frío pesa más que el caliente, la masa de alta presión está constituida de aire frío. Por el contrario, una masa de baja presión de aire está formada por aire más caliente y liviano. Las diferencias de presión hacen que el aire se mueva de las áreas de alta presión a las de baja presión, lo que da lugar al viento.

La Estabilidad Atmosférica

El movimiento vertical **es** conocida como “estabilidad atmosférica”, también afecta el transporte y dispersión de los contaminantes del aire. Las condiciones atmosféricas inestables producen la mezcla vertical. Generalmente, el aire cerca de la superficie de la tierra es más caliente en el día debido a la absorción de la energía solar. Luego, el aire más caliente y liviano de la superficie sube y se mezcla con el aire más frío y pesado de la atmósfera superior. Este movimiento constante del aire crea condiciones inestables y dispersa el aire contaminado.

Generalmente, cuando el aire más caliente está por encima del aire frío se presentan condiciones atmosféricas estables, de ese modo se inhibe la mezcla vertical. Esta condición se denomina inversión térmica. Cuando hay una ligera mezcla vertical o no hay mezcla, los contaminantes permanecen en la zona baja y tienden a aparecer en concentraciones mayores.

La Radiación Solar

Influyen en la formación de ozono, ya que permiten la reacción de vapores orgánicos con los óxidos de nitrógeno.

La Precipitación

Permite un efecto beneficioso, por que lava las partículas contaminantes del aire y ayuda a minimizar las partículas provenientes de actividades como la construcción y algunos procesos industriales.

La Topografía

Las grandes ciudades rodeadas de una topografía compleja como, valles o cadenas montañosas a menudo experimentan altas concentraciones de contaminantes del aire. Por ejemplo, las ciudades de Los Ángeles y México están ubicadas en cuencas rodeadas por montañas y experimentan altos niveles de contaminación.

LA CHIMENEA COMO MEDIO DE DISPERSIÓN DEL AIRE

Se diseñan teniendo en cuenta a la comunidad circundante. Mientras más alta sea la chimenea mayor será la probabilidad de que los contaminantes se dispersen y diluyan antes de afectar a las poblaciones vecinas.

A la emanación visible de una chimenea se le llama pluma. La altura de pluma está determinada por la velocidad y empuje de los gases que salen por la chimenea. A menudo se añade calor a los gases para aumentar la altura de la pluma. Las fuerzas del interior de la chimenea hacen que la pluma tenga velocidad vertical. Los contaminantes emitidos por las chimeneas pueden transportarse a largas distancias. En general, la concentración de contaminantes disminuye a medida que se alejan del punto de descarga y son dispersados por el viento y otras fuerzas naturales.

MODELOS DE DISPERSIÓN

Los modelos de dispersión, son métodos para calcular la concentración de contaminantes a nivel del suelo y a diversas distancias de la fuente. En la elaboración de modelos se usan representaciones matemáticas de los factores que afectan la dispersión de contaminantes. Las computadoras, mediante modelos, facilitan la representación de los complejos sistemas que determinan el transporte y dispersión de los contaminantes del aire.

Cuando se hace un modelo del transporte y dispersión de contaminantes del aire se recopila información específica de un punto de emisión. Esta información incluye la ubicación del punto de emisión (longitud y latitud), la cantidad y tipo de los contaminantes emitidos, condiciones del gas de la chimenea, altura de la chimenea y factores meteorológicos tales como la velocidad del viento, perfil de la temperatura ambiental y presión atmosférica.

Los científicos usan estos datos como insumo del modelo de computación y para predecir cómo los contaminantes se dispersarán en la atmósfera. Los niveles de concentración pueden calcularse para diversas distancias y dirección de la chimenea.

PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN

1. La dispersión de contaminantes de una fuente está influenciada por el movimiento horizontal y vertical de la atmósfera.
 - a. Verdadero
 - b. Falso

2. El modelo de dispersión es:
 - a. El método usado para calcular la concentración de contaminantes a diversas distancias de una fuente.
 - b. La tasa estándar de dispersión de contaminantes en condiciones atmosféricas predeterminadas.
 - c. La distancia medida de dispersión de contaminantes para una determinada fuente.
 - d. El modelo de la tasa de dispersión promedio de un determinado contaminante donde se comparan las fuentes de ese contaminante.

3. La altura de la chimenea tiene poco o ningún efecto sobre la tasa de dispersión de contaminantes.
 - a. Verdadero
 - b. Falso

4. La inversión térmica se presenta cuando:
 - a. La capa de aire caliente está por encima del aire frío
 - b. La capa del aire frío está por encima del aire caliente
 - c. No existe desplazamiento de la capa caliente terrestre
 - d. Las capas de aire frío y caliente alcanzan la misma temperatura.

MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE CONTAMINANTES DEL AIRE



Fuente: National Geographic - Noviembre 2000

INTRODUCCIÓN

La medición de los contaminantes sirve para varias funciones tales como: Provee un criterio cuantitativo sobre si los estándares de calidad del aire se están superando o logrando y en qué grado. La medición es necesaria para determinar si algunos cambios nocivos en los niveles de contaminación esta ocurriendo como resultado de las actividades del hombre. Sirve para determinar el cumplimiento de las normas de calidad del aire y para diagnosticar las condiciones de un área antes de construir una nueva fuente de contaminación.

Cuanto más se aproxime uno a la medición del tiempo real, más costoso se volverá el equipo necesario debido a la mayor sensibilidad requerida y a la cantidad de datos que se han de almacenar y procesar. Para una muestra colectada el tiempo promedio corresponde al tiempo en que se empleó en el

muestreo y al tiempo de respuesta del instrumento de medición. Respecto a un contaminante como el dióxido de azufre, dicha respuesta es rápida y los picos atmosféricos de corta duración de este contaminante puede ser el factor crítico en la determinación de los daños sobre la salud. En cuanto al plomo, la respuesta es lenta y el promedio a largo plazo es necesario. Estas diferencias se reflejan en los estándares de la calidad del aire.

CONCENTRACIÓN DE LOS CONTAMINANTES

En la medición y análisis de contaminantes, la concentración de los contaminantes atmosféricos suele expresarse en 3 tipos de unidades.

La primera, empleada para contaminantes gaseosos, es la de partes por millón en volumen, y cuyo símbolo es ppm. Algunas veces, las concentraciones se expresan también en partes por mil millones (*ppb*).

La segunda unidad de concentración frecuentemente utilizada está basada en el peso por unidad de volumen de aire, expresada en microgramos por metro cúbico, y cuyo símbolo es $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Se utiliza esta medida para las partículas y también para los gases.

La tercera unidad poco usada es la de miligramos por metro cúbico y el símbolo es mg/m^3 . La conversión entre ppm y $\mu\text{g}/\text{m}^3$ depende del peso molecular (PM) y del volumen ocupado por un mol de la sustancia. Bajo condiciones normales de temperatura (25°C) y presión (1 atm), la relación entre estas unidades es la siguiente:

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

MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE CONTAMINANTES

Estos procedimientos orientan el muestreo, análisis, calibración de instrumentos y cálculo de las emisiones. La elección del método específico de análisis depende de un número de factores, siendo los más importantes las características químicas del contaminante y su estado físico-sólido, líquido o gaseoso. Los métodos de referencia se diseñan para determinar la concentración de un contaminante en una muestra. La concentración se expresa en términos de masa por unidad de volumen, usualmente en microgramos por metro cúbico.



Existen algunos principios básicos y terminología asociada al muestreo y análisis del contaminante. La recolección de la muestra puede realizarse mediante técnicas manuales o automáticas. El análisis y medición de los contaminantes puede hacerse por diversos medios, según las características químicas y físicas del contaminante.

Los métodos a utilizar son:

La Volumetría

En este método la cantidad de producto detectado se deduce del volumen de la disolución que se ha consumido en una reacción. Este método cuantifica muestras en solución mediante la técnica de titulación.

La Gravimetría

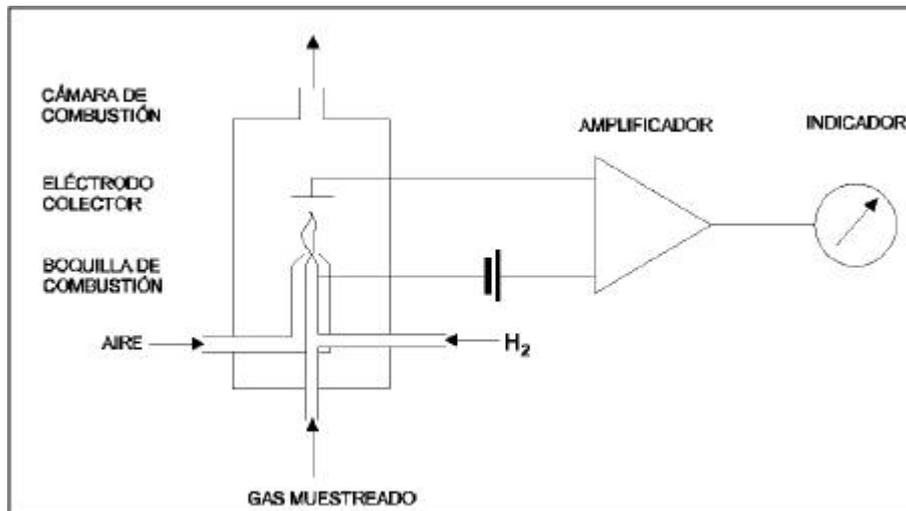
Uno de los métodos para la medición del material particulado es emplear principios gravimétricos. La gravimetría se refiere a la medición del peso. Las partículas se atrapan o recogen en filtros y se pesan. El peso del filtro con el contaminante recolectado menos el peso de un filtro limpio da la cantidad del material particulado en un determinado volumen de aire.

La Absorción Atómica

Se usa para medir el plomo. Después de recolectar las partículas de plomo mediante métodos gravimétricos, el plomo se extrae de la muestra mediante ácidos. En el proceso de absorción atómica, el plomo absorbe pequeñas cantidades de radiación. La radiación emitida por la muestra permite conocer la cantidad de átomos de plomo en la muestra.

La Espectrofotometría

Se basa en principios colorimétricos y comúnmente se usa para medir la concentración de dióxido de azufre. En este proceso, los colorantes y productos químicos se combinan con una solución que contiene dióxido de azufre. El color de la solución da lugar a diferentes cantidades de luz absorbida. La cantidad de luz absorbida, medida con un espectrofotómetro, indica la cantidad presente de dióxido de azufre.



La Quimiluminiscencia de Fase Gaseosa

Es un método para medir el ozono. En este método, por reacción química al etileno, el ozono emite luz y esa luz se mide con un tubo fotomultiplicador. La cantidad de luz indica la cantidad presente de ozono.

Ionización de Llama

Se quema la muestra de aire gaseoso con una pequeña llama de hidrógeno. El número de iones o electrones que se forma es proporcional al número de átomos de carbono que se encuentra en la muestra y se cuenta electrónicamente. Esta técnica puede usarse para medir los compuestos orgánicos volátiles (hidrocarburos). Como este método también detecta los carbonos en el metano, un gas relativamente inofensivo que se encuentra naturalmente en la atmósfera, se debe realizar correcciones para justificar su presencia.

A continuación se presentan los métodos de medición y análisis más usados. El resultado final de los procedimientos de muestreo y análisis son los datos cuantitativos. La validez de los datos depende de la exactitud y precisión de los métodos usados para generar datos. Para asegurar la validez, se emplean diversas medidas de control de calidad para cada uno de los métodos de referencia. La principal medida de control de calidad es la calibración.

Cuadro 8-1. Métodos de medición y análisis de contaminantes del aire

Método	Principio	Contaminante
Ionización de llama	Responde en proporción al número de átomos de carbono en la muestra de gas	COV
Absorción infrarroja	La muestra absorbe la radiación en la región infrarroja del espectro; se mide la diferencia en la absorción. Se usa otras regiones del espectro, por ejemplo, UV	Monóxido de carbono
Absorción atómica	La muestra absorbe la radiación; la radiación emitida depende de los átomos presentes.	Plomo
Espectroscopía de fluorescencia	La muestra excitada puede reemitir el exceso de energía excitada	Ozono, NO ₂
Gravimetría	Gravimetría; la masa de material particulado se determinado por el peso	PM ₁₀
Espectro-fotometría	Se forma soluciones coloreadas mediante la mezcla de los reactivos con los contaminantes	SO ₂

La calibración comprueba la exactitud de una medición al establecer la relación entre el resultado de un proceso de medición y un insumo conocido. Cada uno de los métodos de referencia tiene procedimientos precisos de calibración que se deben seguir para asegurar resultados exactos.

También se han desarrollado programas extensos de garantía de la calidad para asegurar la validez de los datos. Un componente esencial del programa de garantía de la calidad de datos son las auditorías. En una auditoría, uno o varios laboratorios analizan una muestra estándar conocida de un contaminante. Si los laboratorios obtienen el resultado esperado, pueden estar seguros que sus métodos y procedimientos son precisos.

PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN

1. Establece la relación entre el resultado de un proceso de medición y un insumo conocido.
 - a. Gravimetría
 - b. Análisis de muestras
 - c. Calibración
 - d. Auditoría

- 
- 
2. La gravimetría se refiere a:
 - a. El método usado para medir las concentraciones de dióxido de azufre.
 - b. Una lista detallada de contaminantes emitidos de fuentes específicas en una determinada área.
 - c. La equivalencia de la velocidad del gas en la chimenea con la velocidad del gas en la prueba.
 - d. Medición del peso.

 3. ¿Qué técnica puede usarse para medir los compuestos orgánicos volátiles (hidrocarburos)?
 - a. Absorción atómica
 - b. La espectrofotometría
 - c. La ionización de llama
 - d. La quimiluminiscencia de fase gaseosa.

 4. Los factores más importantes para decidir el método de análisis son:
 - a. Concentración del contaminante y efectos dañinos potenciales del contaminante.
 - b. Características químicas del contaminante y si el contaminante es sólido, líquido o gaseoso.
 - c. Características químicas del contaminante y costo

 - d. Disponibilidad de equipo y tiempo

CAPÍTULO 9

MONITOREO ATMOSFÉRICO



Fuente: www.senamhi.gob.pe/ambiente/

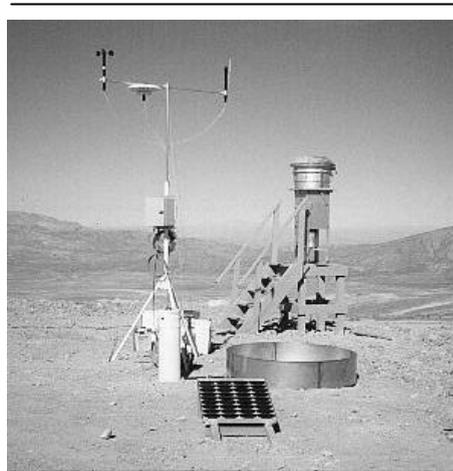
INTRODUCCIÓN

Se define como monitoreo atmosférico a todas las metodologías diseñadas para muestrear, analizar y procesar en forma continua las concentraciones de sustancias o de contaminantes presentes en el aire en un lugar establecido y durante un tiempo determinado.

Su importancia radica en que para: a) formular los estándares de calidad de aire, b) llevar a cabo estudios epidemiológicos que relacionen los efectos de las concentraciones de los contaminantes con los daños en la salud, c) especificar tipos y fuentes emisoras, d) llevar a cabo estrategias de control y políticas de desarrollo acordes con los ecosistemas locales, y e) desarrollar programas racionales para el manejo de la calidad del aire, se requiere de una base de

datos que aporte información para la realización de todos estos estudios la cual se genera a partir del monitoreo atmosférico.

En la figura se puede ver una estación de monitoreo atmosférico, con sensores para la medición de variables como velocidad y dirección de viento, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, radiación solar, evaporación, pluviometría etc., permiten la adquisición y rescate remoto de datos, y elaboración de gráficos y tablas.



Fuente: National Geographic - Noviembre 2000

GUÍA PARA EL MONITOREO ATMOSFÉRICO

Los puntos a definirse en el monitoreo son:

a. Definición de objetivos

Entre los objetivos más usuales encontramos los siguientes:

- Establecer bases científicas para políticas de desarrollo.
- Determinar la congruencia con las normas y los criterios legales.
- Estimar los efectos en la población y en el ambiente.
- Informar al público acerca de la calidad del aire.
- Proporcionar información de fuentes y riesgos de contaminación.
- Llevar a cabo evaluaciones de tendencias a largo plazo.
- Medir los efectos de las medidas de control en la calidad del aire.
- Estudiar las reacciones químicas de los contaminantes en la atmósfera.
- Calibrar y evaluar modelos de dispersión de contaminantes en la atmósfera.

También se tendrá que tomar en cuenta el área de influencia, ya que todos estos objetivos de monitoreo determinarán áreas o localidades delimitadas en donde se llevarán a cabo los estudios, agrupándose en:

- Muestreos de un área o región determinada (población, vegetación, materiales).
- Muestreos de la contaminación causada por fuentes emisoras:

- i. Fijas
 - ii. Móviles
- Muestreos específicos, generalmente relacionados con personas.

b. Definición de parámetros ambientales necesarios para cumplir con los objetivos

Entre los parámetros a medir están los contaminantes atmosféricos, los cuales pueden ser clasificados en primarios y secundarios. Los primarios son aquellos que se emiten directamente a la atmósfera por alguna fuente, los secundarios, son generados a partir de reacciones de los primarios en la atmósfera.

Se han identificado en la atmósfera más de 100 contaminantes entre los que se incluyen más de 20 elementos metálicos. Sin embargo se consideran como indicadores de la contaminación sólo a las más abundantes, estos son: bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono, monóxido de carbono, hidrocarburos y partículas suspendidas.

Otros parámetros ambientales que se tendrán que medir serán los parámetros meteorológicos y topográficos, que dependiendo del objetivo del estudio tendrán una gran injerencia en el mismo, pues influyen directamente en la dispersión de los contaminantes atmosféricos y en el caso de los contaminantes secundarios, afectan su producción en la atmósfera; además estos factores en algunas ocasiones son responsables de las zonas críticas de un área de estudio. Entre ellos se encuentran dirección y velocidad del viento, temperatura, diferencial vertical de la temperatura, humedad relativa, precipitación, radiación solar, altitud, tipo de suelo y relieve.

c. Definición del número y los sitios de muestreo

Ya definidos los objetivos de monitoreo, delimitadas las localidades o áreas de estudio y los parámetros que se necesitan monitorear se tomará como meta la organización temporal y distribución espacial de los puntos de monitoreo o de colección de muestras dentro del área de estudio, de manera que sean representativos de la calidad del aire de un lugar determinado para poder compararlos con estándares de calidad del aire, valores límites, normas etc.

d. Localización de los sitios de muestreo

Existen diferentes procedimientos de selección de los lugares en donde se deben de instalar los sitios de muestreo, que van desde la elaboración de

una cuadrícula del área a monitorear, colocando los sitios de monitoreo en las aristas de la cuadrícula, hasta el uso de complejos modelos estadísticos que nos proporcionan el número y distribución óptima de las estaciones, pero que dependen estrechamente de la muestra o sea de la cantidad de mediciones que se llevaron a cabo para establecer el modelo.

Para elegir estas localizaciones se deberán de tomar en cuenta una variedad de consideraciones como tipo de emisiones, fuentes de emisión, los factores topográficos y meteorológicos, información de la calidad del aire, (en caso de que exista), modelos de simulación y otros factores como uso de suelo, demografía, salud pública, etc.

Densidad o número de puntos de muestreo requeridos

La densidad de los puntos de muestreo indica el número de sitios de muestreo por zona dentro de una misma área. En el caso de que se establezcan varios sitios de muestreo o de monitoreo, su número se incrementará en las zonas en las que se alcancen o excedan los valores permisibles, a mayores valores y variaciones de calidad de aire dentro de la misma zona, más sitios de muestreo se requerirán. Por ejemplo, en una parcela de aire de una zona de muestreo, se localizará una sola estación siempre y cuando esa parcela sea uniforme en cuanto a concentraciones de contaminantes, de no ser así, es decir si estas concentraciones sufrieran variaciones dentro de la misma parcela, se requerirían dos o más estaciones por lo que se dividiría esta parcela, de manera que cada estación cubra una parcela con características homogéneas. También se requerirán más número de puntos de muestreo cuando se tengan tiempos de muestreo cortos y cuando las mediciones sean menos frecuentes, esto es a menor frecuencia mayor número de sitios de muestreo.

Requerimientos del sitio de muestreo

Ya definidas las localidades o áreas donde se van a llevar a cabo los muestreos, se dividen éstas en zonas y se señala el número de los sitios de muestreo requeridos en cada zona a ser monitoreada. Se deberá tomar en cuenta, al seleccionar la ubicación de los sitios de muestreo y principalmente cuando se pretendan instalar muestreadores activos o automáticos, algunas consideraciones prácticas que necesitan tener estos sitios, como son las siguientes:

- Fácil acceso
- Seguridad contra vandalismo

Cuadro 9-1. Promedio sugerido de estaciones de muestreo de la calidad del aire en zonas urbanas de una población determinada

Población urbana (millones)	Parámetros de monitoreo					
	Partículas	Bióxido de azufre	Oxido de nitrógeno	Oxidantes	Monóxido de carbono	Meteorológicos (velocidad del viento y gradientes térmicos)
Menos de 1	2	2	1	1	1	1
1-4	5	5	2	2	2	2
4-8	8	8	4	3	4	2
Más de 8	10	10	5	4	5	3

Nota: Esta tabla es útil para una primera aproximación, cuando no se cuenta con información adicional.

Fuente: Estrategias de monitoreo.OMS

- Infraestructura
- Libre de obstáculos

Algunas de las recomendaciones que se fijan en los manuales de los diferentes organismos, se presentan a continuación:

- Para asegurar un flujo lo más libre posible, se deben evitar árboles y edificios en un área de 10 m. alrededor del sitio de muestreo y no tomar muestras en las superficies laterales de los edificios.
- En lo posible, deben rechazarse las interferencias en las estaciones de muestreo, por la circulación local que depende de factores topográficos.
- Para minimizar los efectos de las fuentes locales, se recomienda instalar la estación de monitoreo a una distancia de por lo menos 20 metros de cualquier fuente industrial, doméstica o de carreteras con alto tráfico vehicular.
- La entrada al muestreador debe estar entre 1.5 y 4 m. sobre el nivel del piso. Una altura de 1.5 m. se utiliza para estimar exposiciones potenciales del ser humano a situaciones de gran carga de tráfico vehicular. Sin embargo, para evitar el vandalismo en algunos sitios de monitoreo, se prefiere instalar la toma de muestra a una altura de 2.5 m. Existen algunas circunstancias, para los estudios de los antecedentes de contaminación en ciudades, en donde no es posible cumplir con el requisito de una altura de 4 m., por lo cual se han realizado instalaciones de toma de muestra hasta 8 m. de altura.
- La entrada al muestreador no debe localizarse cerca de fuentes de contaminación, para evitar arrastres de plumas de chimeneas domésticas o industriales.

OBSTÁCULO	DISTANCIA
Arboles y edificios	Se recomienda radio libre e 10 m., alrededor del sitio de muestreo.
Fuentes de emisión: industriales, comerciales o móviles.	Se recomienda 20 m. de distancia del sitio de muestreo.

Nota: Estas distancias no se aplican en el caso de monitoreos Kerbside (en la (banqueta).

ALTURA DE LA TOMA DE MUESTRA	TIPO DE ESTUDIO
1.5 a 2.5 m.	Para estudios epidemiológicos o de tráfico vehicular.
2.5 a 4 y hasta 8 m.	Estudios de calidad de l aire de fuentes fijas.
10 m.	Determinación de parámetros metereológicos.

- Para medir los parámetros meteorológicos se recomienda instalar los instrumentos a una altura mínima de 10 m. sobre el nivel del suelo, y tomar mediciones a diferentes alturas con el objeto de obtener gradientes térmicos. Anteriormente se utilizaban torres meteorológicas de 100 m., actualmente se utilizan técnicas de radiosondeo y sensores remotos.

La figura superior muestra el resumen de las recomendaciones anteriores.

d. Determinación de tiempos de muestreo

La determinación de los tiempos de muestreo dependerá del tipo de programa que se pretenda llevar a cabo. Lo primero que se tendrá que definir para cualquier tipo de programa de monitoreo, ya sea de muestreo continuo o discontinuo, será la duración del mismo. La frecuencia de muestreo y el tiempo de toma de muestra, se determinarán para programas discontinuos en función de los objetivos de monitoreo y de la calidad de los datos que se requiera para cumplir con estos objetivos.

Duración del Programa

Se define como duración de un programa de muestreo, al período de tiempo de evaluación en que se llevan a cabo las mediciones para recopilar la base de datos necesaria para cumplir con los objetivos del programa. Para medi-

ciones permanentes de calidad del aire, se considera como la duración de un programa de muestreo a los 12 meses que abarca un año completo del período de evaluación, porque de esta manera se toma en cuenta la injerencia de los cambios estacionales. También se pueden llevar a cabo programas semestrales de verano y de invierno, programas mensuales o hasta semanales, correlacionándolos con programas permanentes.

Frecuencia

El término frecuencia de muestreo indica el número de muestras que se tomarán o llevarán a cabo en un intervalo de tiempo, en un punto de muestreo o en un área de muestreo, y se aplica en programas de muestreo discontinuos. Este factor es de gran importancia puesto que los valores de calidad del aire dependen en gran parte de variaciones temporales: condiciones climáticas y cambios estacionales. Estas concentraciones también varían en función del día de la semana y en un mismo día las condiciones meteorológicas y patrones de emisión, pueden producir variaciones en las concentraciones de los contaminantes. Hay ocasiones en que los valores máximo promedio de concentraciones de contaminantes primarios se registran durante la mañana y las tardes mientras que en la noche bajan. Por lo que se recomienda establecer una frecuencia de muestreo que tome en consideración todos estos cambios de manera que el programa de monitoreo sea representativo de lo que ocurre en la zona de estudio. Durante muestreos con analizadores automáticos no se aplica este factor puesto que el muestreo se lleva a cabo continuamente durante todo el período que abarca el programa de monitoreo.

Para establecer valores medios anuales se recomiendan muestreos individuales con una frecuencia de 1 a 2 veces por semana dependiendo de las concentraciones y variando el día de la semana (ejemplo: tomar muestreos cada seis días), de manera que se tomen muestras en todos los días de la semana. Para establecer el 98 percentil se recomiendan mediciones por lo menos 2 veces por semana y en caso de concentraciones muy variables, hasta 4 veces por semana, cambiando también los días de la semana. Para promedios diarios por lo menos 5 mediciones por mes, durante un año o por lo menos durante seis meses, cuando no hayan cambios estacionales muy marcados.

Tiempo de Toma de Muestra

El tiempo de toma de muestra de una lectura individual en mediciones discontinuas, corresponde al período de tiempo en que se lleva a cabo la deter-

minación de concentraciones de los contaminantes mientras más corto es el tiempo de toma de muestra, más altos serán los valores máximos esperados.

Este tiempo se determina tomando en cuenta los criterios recomendados de efectos en la salud o factores de inmisión de los contaminantes a determinar, por medio de los límites de detección del método de muestreo utilizado y por medio de los criterios establecidos en las normas oficiales de calidad del aire de cada País.

Algunas recomendaciones de los manuales WHO/UNEP, GEMS/AIR, en cuanto a tiempos de muestreo, son las siguientes:

- Deben ser medidas concentraciones promedio de 24 horas.
- El monitoreo anual se recomienda para determinar las variaciones estacionales y para obtener promedios anuales.
- El muestreo diario se recomienda si se necesitan realizar comparaciones significativas a corto plazo o si las concentraciones a 24 horas serán cuantificadas confiablemente.
- Se requiere de monitoreo con resolución horaria únicamente cuando existan condiciones de episodio de contaminación.

e. Selección de equipo de muestreo y de las técnicas de análisis

Otro factor importante es la selección del equipo de muestreo y de sus metodologías de análisis, las cuales deberán ser acordes con los objetivos que previamente se fijaron y la calidad de los datos que se requieren para cumplirlos. Esta necesidad de calidad o precisión en la base de datos, será uno de los principales elementos a considerar al seleccionar el equipo, otros serán la capacidad económica local y la disponibilidad de personal capacitado. Por lo que deberá tomarse en cuenta, el costo del instrumento y su complejidad contra su confiabilidad y su funcionamiento. Sistemas más caros proveen alta calidad en datos, pero son más complejos de manejar. Debido a que las tecnologías que se ofrecen en el mercado cubren una gran gama de costos en capital y operación, se recomienda escoger la tecnología disponible más simple y barata que cumpla con los objetivos de monitoreo especificados.

TÉCNICAS DE MUESTREO

Las técnicas para muestreo dentro del monitoreo atmosférico pueden ser divididos en cinco tipos genéricos:

a. Muestreador pasivo

Estos dispositivos de toma de muestra, generalmente con forma de tubo o disco, colectan un contaminante específico por medio de su adsorción y absorción en un sustrato químico seleccionado. Después de su exposición por un apropiado período de muestreo, que varía desde un par de horas hasta un mes, la muestra se regresa al laboratorio, donde se realiza la desorción del contaminante y después se le analiza cuantitativamente.

Las principales ventajas del muestreo pasivo es su simplicidad y bajo costo, por lo que se pueden extender muchas unidades para que provean información en cuanto a la distribución espacial de los contaminantes. Sin embargo el tiempo de resolución de esta técnica es limitado, por lo que sólo puede proveer información de concentraciones promedio de contaminantes.

b. Muestreo reactivo

A diferencia de los muestreadores pasivos, este tipo de equipos requieren energía eléctrica para bombear el aire a muestrear a través de un medio de colección físico o químico. El volumen adicional de aire muestreado incrementa la sensibilidad, por lo que pueden obtenerse mediciones diarias promedio. Los muestreadores activos más utilizados actualmente son los burbujeadores acidimétricos para medir SO₂, el método de filtración para partículas totales en suspensión (PTS) y el método gravimétrico de altos volúmenes (High Vol.) para partículas totales y fracción respirable de la EPA.

c. Analizadores o monitores automáticos

A pesar de las ventajas económicas de los muestreadores activos o pasivos, existen aplicaciones de monitoreo que necesitan de la rápida respuesta, en horas o menor, que proporciona un analizador automático, por ejemplo cuando se pretenden detectar valores máximos de concentraciones de contaminantes y situaciones de alerta para implementar medidas de contingencia.

Estos instrumentos se basan en propiedades físicas o químicas del gas que va a ser detectado continuamente, utilizando métodos optoelectrónicos. El aire muestreado entra en una cámara de reacción donde, ya sea por una propiedad óptica del gas que pueda medirse directamente o por una reacción química que produzca quimiluminiscencia o luz fluorescente, se mide esta luz por medio de un detector que produce una señal eléctrica proporcional a la concentración del contaminante muestreado.

d. Sensores remotos

Los sensores remotos a diferencia de los monitores automáticos, que proporcionan mediciones de un contaminante en un punto en el espacio, pueden proporcionar mediciones integradas de multicomponentes a lo largo de una trayectoria específica en la atmósfera (normalmente mayor a 100 m.), y sistemas más complejos, pueden hasta proveer mediciones con rangos de resolución a lo largo de la trayectoria. Se han llegado a detectar por ejemplo hasta 5 ppb de SO₂, en un patrón de 1 km. Sistemas móviles pueden proporcionar mapas tridimensionales detallados de concentraciones de contaminantes dentro de un área por un período de tiempo limitado.

e. Bioindicadores

Actualmente se ha mostrado gran interés en el uso de bioindicadores para estimar algunos factores ambientales, entre los que se incluyen la calidad del aire, particularmente en la investigación de sus efectos. El término biomonitorio, (el cual implica generalmente el uso de plantas para monitorear el aire) cubre una multitud de muy diferentes muestreos y enfoques de análisis con muy diferentes grados de sofisticación y desarrollo. Los métodos incluyen:

1. Uso de la superficie de las plantas como receptoras de contaminantes, como el uso del perejil para el plomo y el musgo para hidrocarburos poliaromáticos. Esencialmente la planta es un muestreador y debe ser colectada y analizada en el laboratorio por medio de métodos clásicos.
2. Uso de la capacidad de la planta para acumular contaminantes o sus metabolitos en el tejido de la planta, como en el caso de las agujas del abeto para azufre total y de los pastos para fluoruros, azufre y algunos metales pesados. Nuevamente el tejido de la planta deberá ser colectado y analizado por métodos clásicos.
3. Estimación de los efectos de los contaminantes en el metabolismo o en la información genética de las plantas, como el efecto del ozono en los cloroplastos del abeto. En este caso la colección y análisis requiere de técnicas muy sofisticadas.
4. Estimación de los efectos de los contaminantes en la apariencia de las plantas, como el efecto del SO₂ en los líquenes, el efecto del ozono en las plantas de tabaco y en algunas especies de pinos, cuyas agujas presentan bandas cloróticas cuando están expuestas a concentraciones episódicas de ozono. La estimación puede llevarse a cabo en el campo por expertos y no se necesitan análisis de laboratorio.
5. Distribución y análisis de plantas específicas como indicadores de calidad del aire, como el tipo y distribución de líquenes para estimar los efectos.

Cuadro 9-2. Metodologías para el muestreo en el monitoreo atmosférico

METODOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	INVERSIÓN U.S. DLS
Muestreadores Pasivos	Muy bajo costo. Muy simples. Útiles para cribado y estudios de base.	No probado para algunos contaminantes. En general sólo proveen promedios semanales y mensuales. Requieren análisis de laboratorio.	\$2-4 por muestra.
Muestreadores Activos	Bajo costo. Fáciles de operar Confiables en: operación y funcionamiento. Historia de bases de datos.	Proporciona concentraciones pico o de alerta. Trabajo intensivo. Requieren análisis de laboratorio.	\$2000-4 000 por unidad.
Monitoreos Automáticos	Alto funcionamiento comprobado. Datos horarios. Información <i>on line</i> y bajos costos directos.	Complejo. Caro. Requieren técnicos calificados. Altos costos periódicos de operación.	\$10 000-20 000 por monitor.
Sensores Remotos	Proporcionan patrones de resolución de datos. Útiles cerca de fuentes y para mediciones verticales en la atmósfera. Mediciones de multicomponentes.	Muy complejos y caros. Difíciles de operar, calibrar y validar. No son siempre comparables con los analizadores convencionales.	>\$200 000 por sensor.
Bioindicadores	Baratos. Útiles para identificar la presencia de algunos contaminantes.	Problemas en la estandarización de sus metodologías y otros inherentes a los procedimientos. Algunos requieren análisis de laboratorio.	Costo Variable.

Fuente: Introducción al Monitoreo Atmosférico. Henyk Weitzenfeld. OPS

tos fitotóxicos totales de la contaminación del aire. La estimación se lleva a cabo en el campo por expertos y no se requiere análisis de laboratorio.

En el Cuadro 9-2 se muestra un cuadro de las metodologías para el muestreo dentro del monitoreo atmosférico.

EQUIPO DE MUESTREO

a. Equipo para muestreo pasivo

Actualmente se define a un muestreador pasivo para especies gaseosas como el instrumento capaz de tomar muestras de gases o vapores contaminantes de la atmósfera a una tasa controlada por un proceso físico como la difusión a través de un estrato estático o su permeación a través de una membrana pero sin involucrar el movimiento activo del aire.

Como se puede apreciar en el muestreador pasivo con forma de distintivo, la barrera de desorción permite la toma de muestra por difusión molecular, siendo independiente de la velocidad del viento.

b. Equipo para muestreo activo

El equipo que comprende el muestreo activo involucra el uso de un sistema de bombeo que force a una corriente de aire medida a pasar por un sistema de colección que puede contener un medio físico o químico, para que ésta sea colectada o para separar de la corriente de aire el o los contaminantes que se desean muestrear. La colección puede llevarse a cabo succionando el aire y conteniéndolo en bolsas de plástico o en depósitos de vidrio o de metal, o por medio de absorción, adsorción, filtración, difusión, reacción o por la combinación de cualesquiera de estos procesos, utilizando medios de colección. Las muestras colectadas deberán ser subsecuentemente analizadas para determinar la concentración del contaminante de interés.

Con la finalidad de medir exposiciones personales en ambientes de trabajo y para estudios epidemiológicos, se han desarrollado equipos para medir contaminantes atmosféricos que utilizan bombas portátiles, accionadas por baterías e instrumentos de colección con los mismos métodos de colección que los expuestos en este capítulo, pero de un tamaño adecuado para que se puedan colgar del cuello de la camisa o del saco de una persona.

Entre estos instrumentos se observan en la figura:

- Bolsas de plástico. (a)
- Burbujeadores; preferentemente del tipo frasco. (c)
- Tubos indicadores, con adsorbentes como carbón, silica gel y "chromosorbs". (b)
- Tubo Indicador simple (d)



Fuente: Catálogo SKC, 1993

Entre los equipos más utilizados para el muestreo de partículas se encuentran: el muestreador de alto volumen (HV), volúmenes medios (MV), bajos volúmenes (LV) y el clasificador de aerosoles de amplio rango.

El muestreador HV, consta de una bomba de vacío, marco de sujeción del filtro, empaques, una cubierta metálica, un registrador del flujo y un controlador del tiempo. El aire es obligado a pasar por un filtro con un flujo aproximado de 1,5 m³/min. Los filtros se pesa luego de 24 horas en condiciones de temperatura de 20 a 25 °C y humedad relativa entre 40 y 45%. La concentración de las partículas totales en suspensión (PTS) se calcula por la diferencia en peso del filtro antes y después del muestreo. Este método es aplicable para tamaños de partículas entre 01 a 100 micras (dependiendo del viento).

c. Equipo para muestreo automático

Los equipos automáticos de monitoreo son los equipos en los cuales la colección y el análisis de la muestra están combinados en un solo instrumento, que realiza mediciones de concentraciones de contaminantes de forma continua y envía la señal respuesta de estos análisis (los datos), a un mecanismo de colección de información que puede ir desde un registrador analógico hasta un sistema de computación sofisticado.

En el equipo automático de conductimetría la muestra de gas es introducida en un reactivo líquido y el cambio en la conductividad se mide después de completa la reacción entre el líquido y el gas. En el equipo automático la muestra de gas y el reactivo líquido se alimentan continuamente dentro de la celda de reacción.

PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN

1. Para mediciones permanentes de calidad del aire, se considera como la duración de un programa de muestreo.
 - a. 12 meses
 - b. Un semestre
 - c. Un mes
 - d. Una semana

2. Las técnicas para muestreo dentro del monitoreo atmosférico son:
 - a. Muestreador pasivo y bioindicadores
 - b. Muestreador activo y monitoreos automáticos
 - c. Sensores automáticos
 - d. Todas las anteriores

3. Son equipos en los cuales la colección y el análisis de la muestra están combinados en dos instrumentos.
 - a. Muestreador de alto volumen
 - b. Muestreador HV
 - c. Equipos automáticos
 - d. Ninguno

CAPÍTULO 10

PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE



Fuente: National Geographic - Noviembre 2000

INTRODUCCIÓN

Se ha empezado a poner énfasis en el uso de medidas de prevención de la contaminación del aire. El objetivo de la prevención es reducir la generación de contaminantes en la fuente tanto como sea posible y reciclar los que se generen. La prevención de la contaminación puede consistir en la reducción del volumen o de la toxicidad de los desechos.

Se está motivando la prevención de la contaminación mediante la promoción de una jerarquía de cuatro pasos para la protección ambiental:

Paso 1: Reducción de la contaminación de la fuente mediante el uso de técnicas, tales como mejor mantenimiento, cambios en el uso de materias primas o instalación de una nueva tecnología.

Paso 2: Reciclaje o reúso de los desechos cuando sea posible.

Paso 3: Tratamiento y control.

Paso 4: Disposición adecuada de los desechos.

ESTRATEGIAS DE PREVENCIÓN

Las estrategias de prevención de la Contaminación Industrial son las siguientes:

- i. La administración de inventarios, para evitar el desperdicio de materias primas.
- ii. Reingeniería de los procesos, equipo o productos, buscando una minimización de los residuos a través de las buenas prácticas de manufactura y el mantenimiento preventivo de los equipos e instalaciones.
- iii. Prácticas de uso eficiente de energía.
- iv. Prácticas de uso eficiente de agua.
- v. Reciclamiento y reuso de sub-productos y desechos.
- vi. El cambio tecnológico para reemplazar tecnologías obsoletas y contaminantes, e incluso el cambio de materias primas y productos, para sustituirlos por materiales menos contaminantes o por productos reciclables.

ESTRATEGIAS DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN VEHICULAR

Para disminuir y prevenir los efectos agudos y crónicos de la contaminación atmosférica, se debe generar una política que desaliente el uso del automóvil particular y que fomente la utilización de los medios de transporte masivos. Ya que el transporte y la calidad del aire tienen una relación muy estrecha, el mejoramiento del tránsito repercutirá positivamente sobre la contaminación atmosférica. Se debe planificar el tránsito globalmente. No hay soluciones tecnológicas simples para salir de los embotellamientos vehiculares de tráfico en las ciudades; sólo un cambio radical de perspectiva y un enfoque comprensivo - evitando las acciones aisladas- puede convertir de nuevo en lugares habitables a las ciudades.

¿Cuál es el costo de reducir la contaminación atmosférica y mantener la calidad del aire? ¿Vale más la comodidad de unos pocos que la salud de todos?

Dentro de las estrategias de prevención de la contaminación se deben tener en cuenta:

1. Implementación de una red de monitoreo atmosférico permanente.
2. Mejoramiento de los servicios de transporte masivos. Un mayor uso del transporte colectivo reduce la gran demanda de uso vial que tiene el automóvil, porque los automovilistas y su estacionamiento consumen alrededor de 100 veces más de espacio urbano que un peatón que utiliza los transportes colectivos. El uso de automóvil es la forma más deficiente ya que transporta menos personas, los colectivos movilizan de 4 a 7 veces más personas, los trenes llegan a multiplicar 45 veces la capacidad de los automóviles, hasta caminado o en bicicleta por una calle o carril la capacidad de esas vías se triplica. Los transportes públicos de pasajeros son más eficientes transportando gente y tienen emanaciones contaminantes entre 2 y más de 100 veces menores por pasajero que los automóviles.
3. Control técnico vehicular obligatorio.
4. Planificación y control del uso del suelo. La planificación eficaz del suelo reduce el número y longitud de los viajes necesarios para ir a trabajar y realizar otras actividades al integrar escuelas, oficinas, tiendas e instalaciones recreativas en zonas residenciales. Para evitar un mayor uso del automóvil los nuevos edificios deben estar conectadas al sistema de transporte público. Hay que evitar la desaparición de la vivienda permanente en las zonas céntricas, pues eso provoca zonas que sólo tienen vida diurna provocando mayor número de viajes en automóviles.
5. Fomento del transporte no motorizado. Para que la gente camine mucho más y no utilice medios de transporte motorizados, se debe mejorar la calidad del ambiente para el peatón, mejorando el estado de las veredas, reconfigurando zonas del centro de la ciudad y volver a cerrar ciertas calles al tránsito de vehículos. Por su carácter de no contaminante y saludable se debe incentivar el uso de la bicicleta con una red de ciclovías y guarderías (para las bicicletas) conectadas con los paraderos y playas de estacionamiento de vehículos.

PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN

1. Las estrategias de prevención de la contaminación son:
 - a. La administración de inventarios y reingeniería de los procesos.
 - b. Prácticas de uso eficiente de energía y prácticas de uso eficiente de agua.

CAPÍTULO 11

MEDIOS DE CONTROL DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES



Fuente: National Geographic - Noviembre 2000

INTRODUCCIÓN

Por lo general los contaminantes del aire aún en su fuente de emisión, por ejemplo en las chimeneas, se encuentran presentes a concentraciones bajas. Después de su dispersión en la atmósfera los contaminantes del aire experimentan una dilución final de tal manera que su control es esencial antes de la emisión en la fuente o tan cerca de ésta como sea posible.

La remoción de los contaminantes de una emisión representa dos problemas que dependen si el contaminante es gaseoso o está en forma de partículas. Mientras que las partículas resulten afectadas en su comportamiento por una serie de fuerzas físicas incluso las gravitacionales y las electrostáticas; los gases solo se pueden remover mediante difusión hacia superficies controlables donde se absorben o adsorben de manera preferencial o en algunos casos se presentan reacciones químicas para transformarlos en productos menos nocivos.

MEDIOS DE CONTROL SIN DISPOSITIVOS

Los medios de control para limitar la emisión de contaminantes del aire sin dispositivos son:

Cambio de Proceso

Es la técnica que permite cambiar el sistema de combustión de manera que genere menos contaminantes. Es la conversión de una fuente de energía que emplea combustible fósil en una que usa energía solar o hidroeléctrica. Los generadores de energía solar e hidroeléctrica generan menor contaminación.

Cambio de Combustible

Es una opción que permite cambiar un combustible por otro que genere menos contaminación. Por ejemplo, usar carbón con bajo contenido de azufre para reemplazar al carbón con alto contenido de azufre. Esto reduciría la cantidad de emisión de dióxido de azufre. Otro ejemplo sería sustituir el carbón por gas natural, que es menos contaminante.

Buenas Prácticas de Operación

Incluyen medidas de sentido común, tales como el cuidado y mantenimiento apropiado del equipo. Un ejemplo de esta técnica es la inspección y mantenimiento regular para asegurar que no haya fuga de compuestos orgánicos volátiles en una planta química.

Además de la reducción de emisiones, las buenas prácticas de cuidado y mantenimiento también disminuyen los costos al evitar la pérdida de materiales costosos.

Cierre de la Planta

Es una técnica eficaz para reducir la contaminación, cuando las concentraciones de los contaminantes exceden los límites aceptables, en estas circunstancias la reubicación de la planta puede ser la respuesta.

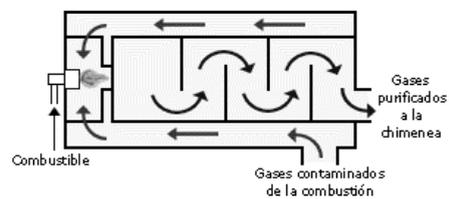
Esta medida puede ser necesaria en casos extremos, también es eficaz reemplazar plantas antiguas por instalaciones modernas.

MEDIOS DE CONTROL CON DISPOSITIVOS

Los dispositivos de control para contaminantes en forma de partículas, gases y vapores son:

Incineradores Termales

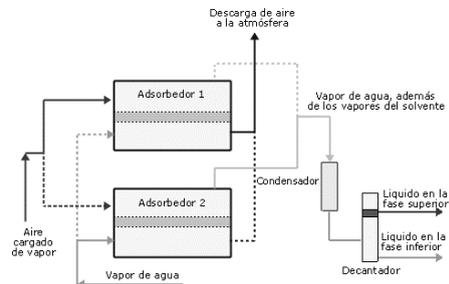
Se usan frecuentemente para controlar la emisión continua de compuestos orgánicos volátiles combustibles. En general, la incineración destruye gases y desechos sólidos mediante la quema controlada a altas temperaturas. Cuando los incineradores termales se operan correctamente pueden destruir más de 99 por ciento de los contaminantes gaseosos.



Fuente: http://165.158.1.117/bvsci/e/fulltext/orienta/lecc8/lecc8_2a.html

Adsorbedores de Carbón

Usa partículas de carbón activado para controlar y recuperar las emisiones gaseosas contaminantes. En este proceso, el gas es atraído y se adhiere a la superficie porosa del carbón activado, lográndose una eficiencia de remoción de 95 a 99 por ciento. Se usa particularmente para recuperar compuestos orgánicos valiosos, por ejemplo, el percloroetileno que se usa en los procesos de lavado al seco.

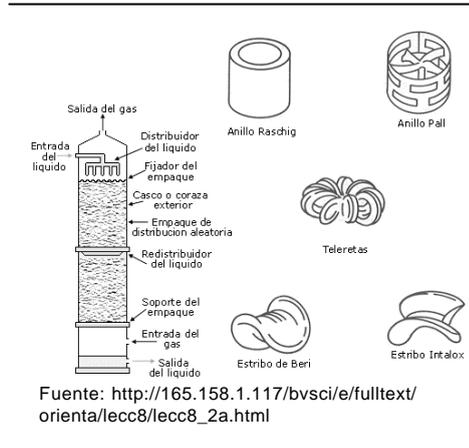


Fuente: http://165.158.1.117/bvsci/e/fulltext/orienta/lecc8/lecc8_2a.html

Para extraer los contaminantes atrapados en el lecho y llevarlos a un dispositivo de recuperación se usa vapor. Mediante la regeneración, las mismas partículas de carbón activado se pueden usar una y otra vez. Los sistemas de regeneración se usan cuando la concentración del contaminante en el flujo de gas es relativamente alto.

Absorbedores

La absorción es el proceso mediante el cual un contaminante gaseoso se disuelve en un líquido. El agua es el absorbente más usado. A medida que el flujo de gas pasa por el líquido, éste absorbe el gas de la misma manera como el azúcar es absorbido en un vaso de agua cuando se agita. La absorción se usa comúnmente para recuperar productos o purificar gases con alta concentración de compuestos orgánicos.

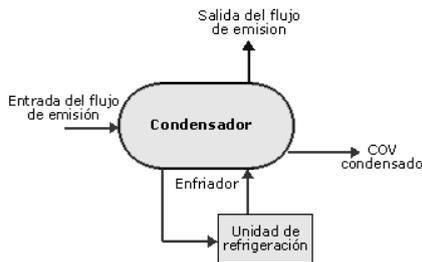


Condensadores

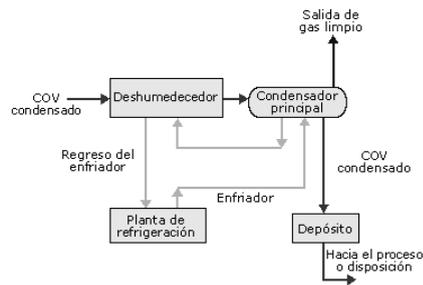
Los condensadores remueven contaminantes gaseosos mediante la reducción de la temperatura del gas hasta un punto en el que el gas se condensa y se puede recolectar en estado líquido.

Los condensadores se usan generalmente para recuperar los productos valiosos de un flujo de desechos. Usualmente se usan con otro dispositivo de control. En el control de la contaminación se emplean condensadores de contacto y de superficie. En los condensadores de contacto, el gas hace contacto con

Condensador de contacto



Condensador de superficie



Fuente: http://165.158.1.117/bvsci/e/fulltext/orienta/lecc8/lecc8_2a.html

un líquido frío. En un condensador de superficie, los gases entran en contacto con una superficie fría en la cual circula un líquido o gas enfriado, como la parte exterior de un tubo.

Precipitadores Electrostáticos

Los precipitadores electrostáticos capturan las partículas sólidas en un flujo de gas por medio de la electricidad.

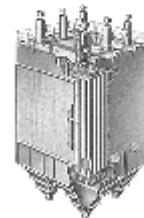
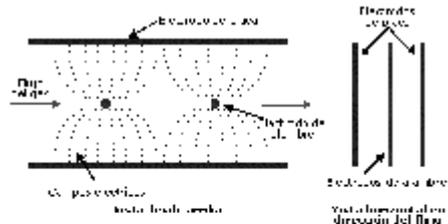
El precipitador electroestático carga de electricidad a las partículas atrayéndolas a placas metálicas con cargas opuestas ubicadas en el precipitador. Las partículas se retiran de las placas mediante «golpes secos» y se recolectan en una tolva ubicada en la parte inferior de la unidad.

La eficiencia de remoción de los precipitadores electroestáticos es muy variable. Sólo para partículas muy pequeñas, la eficiencia de remoción es de aproximadamente 99 por ciento.

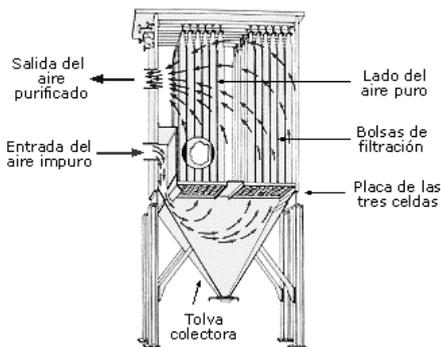
Filtros

El filtro de tela o cámara de filtros de bolsa trabaja bajo el mismo principio que una aspiradora de uso doméstico. El flujo de gas pasa por el material del filtro que retira las partículas.

El filtro de tela es eficiente para retener partículas finas y puede sobrepasar 99 por ciento de remoción en la mayoría de las aplicaciones.



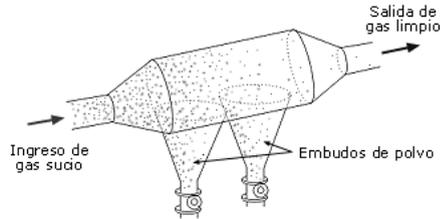
Fuente: http://165.158.1.117/bvsci/e/fulltext/orienta/lecc8/lecc8_2a.html



Fuente: http://165.158.1.117/bvsci/e/fulltext/orienta/lecc8/lecc8_2a.html

Cámaras de Sedimentación

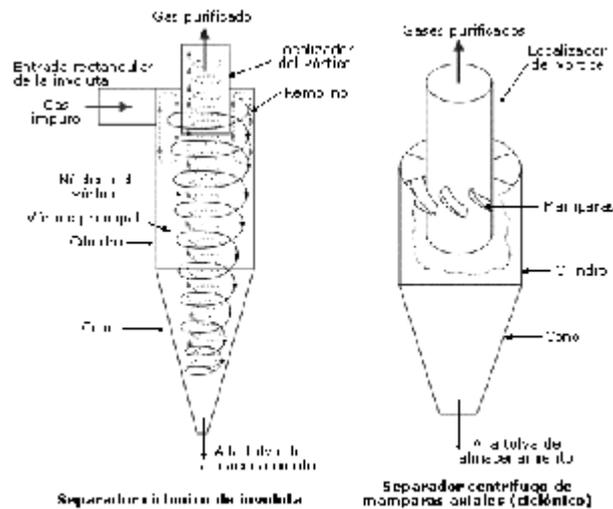
Las cámaras de sedimentación emplean la fuerza de gravedad para remover partículas sólidas. El flujo de gas ingresa a una cámara donde disminuye la velocidad del gas. Las partículas más grandes caen del flujo de gas en una tolva.



Fuente: http://165.158.1.117/bvsci/e/fulltext/orienta/lecc8/lecc8_2a.html

Ciclones

Los ciclones usan el principio de la fuerza centrífuga para remover el material particulado. En un ciclón, el flujo contaminante es forzado a un movimiento circular. Este movimiento ejerce fuerza centrífuga sobre las partículas y las dirige a las paredes exteriores del ciclón. Las paredes del ciclón se angostan en la parte inferior de la unidad, lo que permite que las partículas sean recolectadas en una tolva.



Fuente: http://165.158.1.117/bvsci/e/fulltext/orienta/lecc8/lecc8_2a.html

PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN

1. Si un contaminante gaseoso se disuelve en un líquido la operación se denomina:
 - a. Adsorción
 - b. Ciclón
 - c. Condensación
 - d. Absorción

2. Para remover partículas sólidas de un gas las cámaras de sedimentación usan:
 - a. Electrólisis
 - b. Gravedad
 - c. Hidráulica
 - d. Filtros

3. Los condensadores generalmente se usan junto con otros dispositivos de control.
 - a. Verdadero
 - b. Falso

4. Para separar las partículas sólidas del flujo de gas, los precipitadores electrostáticos usan:
 - a. Agua
 - b. Catalizador
 - c. Electricidad
 - d. Calor y energía



CAPÍTULO 12

ADMINISTRACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE



Fuente: <http://www.walshp.com.pe/aire/aire.htm>

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es una amenaza aguda, acumulativa y crónica para la salud humana y el ambiente. Las personas están expuestas a contaminantes del aire en exteriores e interiores. En los países en desarrollo, la exposición más alta a los contaminantes del aire generalmente ocurre en interiores. La exposición a la contaminación del aire puede generar o agravar afecciones respiratorias, cardíacas y otras. Puede ser especialmente dañina para personas con enfermedades pulmonares o cardíacas crónicas, embarazadas, ancianos y niños. Además, puede ser más dañina para la población pobre que trabaja principalmente en las calles y vive en condiciones precarias. Los problemas de salud causados por la contaminación pueden verse influidos por factores tales como magnitud, alcance y duración de la exposición, edad, susceptibilidad de cada persona, entre otros.

A fin de minimizar el riesgo que la contaminación del aire representa para la salud, los países de la Región de América Latina y el Caribe están tratando de establecer estructuras institucionales y técnicas para mejorar las acciones de vigilancia, control y prevención. La Organización Panamericana de la Salud (OPS) considera que una manera efectiva de que los países desarrollen un plan de acción que mejore la calidad del aire, es formar parte de un Plan Regional. Este Plan Regional constituirá la base sobre la cual las instituciones nacionales e internacionales podrán establecer prioridades con respecto al desarrollo de la gestión de la calidad del aire, mejorar la coordinación y cooperación con los programas de calidad del aire en la Región y viabilizar fondos y otros recursos para apoyar acciones concretas a fin de mejorar la calidad del aire y prevenir su deterioro.

PLAN DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE

a. Enfoque y principios orientadores del plan de gestión 2001- 2009

Para fortalecer la cooperación con los países y entre los países, a fin de acelerar las acciones de manejo de la calidad del aire y proteger la salud de la población, la OPS promueve un enfoque global integrado en el Plan Regional sobre Calidad del Aire Urbano y Salud. El Plan describe las actividades que deben desarrollarse y ejecutarse en el nivel regional, nacional y local en los próximos 10 años para crear las condiciones que reduzcan los problemas de la salud causados por la exposición a contaminantes del aire. Los principios orientadores sobre los cuales se sustenta el Plan son:

- **Universalidad:** Mayor cobertura de los programas de calidad del aire y salud.
- **Equidad:** Mejoramiento de la calidad del aire y la salud por encima de las diferencias de sexo, edad, etnia u otras.
- **Participación:** Participación activa por parte de la comunidad en el diagnóstico, desarrollo e implementación de planes diseñados para minimizar la contaminación del aire y prevenir el deterioro de su calidad.
- **Concertación:** Discusión y cooperación entre todos los sectores involucrados.
- **Integridad:** Desarrollo de programas integrales sobre calidad del aire y la salud (prevención, vigilancia, control y educación).
- **Coherencia:** Orientación de todos los esfuerzos de las distintas entidades comprometidas hacia un objetivo común.
- **Oportunidad:** Soluciones precisas en el momento adecuado.

- Sostenibilidad: Desarrollo de programas autosostenibles económicamente.
- Descentralización: Desarrollo de programas descentralizados con componentes regionales, nacionales y locales.
- Compatibilidad: Desarrollo de programas de calidad del aire y salud compatibles con la realidad regional, nacional y local.

b. Areas programáticas del plan de gestión

i. Políticas, normas y reglamentos

Objetivo:

- Incluir o fortalecer el concepto de calidad del aire y salud en las leyes, reglamentos, planes y estrategias nacionales de los países de la Región.

Resultados esperados:

- Leyes y reglamentos nacionales sobre calidad del aire.
- Instituciones nacionales y locales con capacidad para fiscalizar el cumplimiento de las leyes y reglamentos sobre calidad del aire.
- Calidad del aire incorporado en los planes y políticas de desarrollo regional, subregional, nacional y local.

ii. Manejo de la calidad del aire

Objetivo:

- Establecer o fortalecer programas nacionales y locales de manejo de la calidad del aire en exteriores e interiores.

Resultado esperado:

- Programa nacionales y locales en el manejo de la calidad del aire en interiores e exteriores. Estos programas deberán contar con cuatro áreas específicas: Vigilancia de la calidad del aire, control de las emisiones, prevención de la contaminación del aire e información, capacitación y comunicación pública.

iii. Vigilancia del impacto de la contaminación del aire sobre la salud

Objetivo:

- Establecer o fortalecer programas de vigilancia del impacto de la contaminación del aire sobre la salud e implementar líneas de investigación operativa sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud.

Resultado esperado:

- Programas nacionales y locales de vigilancia de los efectos de la contaminación del aire sobre la salud. Estos programas deberán contar con:

registros periódicos de los casos de morbilidad y mortalidad asociados con la contaminación del aire; evaluación de riesgos; sistemas efectivos de información; y sistemas de cuentas del costo social de la contaminación del aire sobre la salud.

iv. Educación, capacitación y sensibilización pública

Objetivo:

- Informar, educar, capacitar y fortalecer la participación pública en todos los aspectos relacionados con la calidad del aire y salud, así como con la prevención y reducción de la contaminación del aire.

Resultados esperados:

- Un sistema concertado de sensibilización dirigido a quienes toman decisiones, líderes políticos, empresarios y público en general sobre la importancia de la prevención y reducción de la contaminación del aire en interiores y exteriores.
- Calidad del aire y salud incorporados en los diferentes niveles de educación.

v. Financiamiento

Objetivo:

- Establecer mecanismos de sostenibilidad en los programas nacionales y locales de calidad del aire y salud.

Resultado esperado:

- Programas operativos de corto, mediano y largo plazo que permitan la autosostenibilidad de los programas nacionales y locales de calidad del aire y salud.

c. Implementación del plan de gestión

Como se ha descrito anteriormente, el Plan Regional tiene un horizonte de 10 años. En la figura se muestran las tres etapas básicas del plan: planificación, ejecución y evaluación. Debido a la heterogeneidad de situaciones (recursos humanos y económicos, problemas de calidad del aire, etc.) y de niveles de desarrollo de la



gestión de la calidad del aire entre y en los países de la Región, las etapas descritas a continuación deberán ser implementadas de acuerdo con las posibilidades y necesidades nacionales y locales.

i. Planificación

La etapa de planificación está programada para el período 2000-2002. Durante esa etapa, las principales funciones de la OPS serán:

- El establecimiento de una red de instituciones que colaboren con la OPS para facilitar la implementación del Plan Regional.
- El establecimiento de un centro regional de información.
- La preparación de guías y material de capacitación.
- La elaboración de un plan regional para el aseguramiento y control de la calidad del muestreo y análisis de la calidad del aire, la acreditación de laboratorios y la estandarización del manejo de datos de la calidad del aire.
- El apoyo técnico directo a los países.
- La formación de recursos humanos especializados en los países.

En los países, se debería:

- Fortalecer las capacidades técnicas e institucionales.
- Desarrollar políticas, normas y reglamentos.
- Definir programas de financiamiento de corto, mediano y largo plazo.
- Llevar a cabo estudios de diagnóstico.
- Elaborar planes de acción nacionales y locales para mejorar la calidad del aire.

ii. Ejecución

La etapa de ejecución está programada para el período 2002-2007. Durante esa etapa, las principales funciones de la OPS serán:

- El apoyo técnico a los países en la ejecución de los planes de acción.
- La formación de recursos humanos especializados en los países.
- La evaluación periódica del progreso del Plan Regional.

En los países, se debería:

- Poner en marcha los planes de acción.
- Continuar fortaleciendo las capacidades técnicas e institucionales.
- Desarrollar programas de capacitación e información.

iii. Evaluación

La etapa de evaluación está programada para el período 2008-2009. Durante

esa etapa, las principales funciones de la OPS serán:

- La evaluación final del Plan Regional.
- El apoyo técnico directo a los países.

En los países, se debería;

- Evaluar los sistemas de vigilancia y el impacto de las medidas propuestas en los planes de acción.
- Elaborar planes de acción para el período 2010-2019.

d. Agentes y actores claves

La calidad del aire es de competencia universal. Todos somos actores y agentes, parte del problema, de la solución o de ambos. De allí que los grupos de responsabilidad estén representados por:

- Los gobiernos nacionales y locales, que tienen la responsabilidad de dictar las políticas y el marco normativo y hacer cumplir las leyes y reglamentos al respecto; vigilar y prevenir el deterioro de la calidad del aire; controlar las emisiones; vigilar el impacto de la contaminación del aire sobre la salud, y educar, capacitar y sensibilizar a la población.
- Las organizaciones de transporte, energía e industria, que tienen la responsabilidad de hacer del mejoramiento y prevención del deterioro de la calidad del aire un objetivo estratégico de sus acciones diarias.
- La sociedad civil organizada y los organismos no gubernamentales, que tienen la responsabilidad de educar, capacitar y sensibilizar a la población.
- Las instituciones académicas y científicas, que tienen la responsabilidad de realizar investigaciones sobre los problemas tecnológicos, económicos, ambientales, sociales y de impacto sobre la salud en el campo de calidad del aire.
- Los organismos internacionales, que tienen la responsabilidad de prestar su apoyo técnico, financiero y humano.

INICIATIVAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

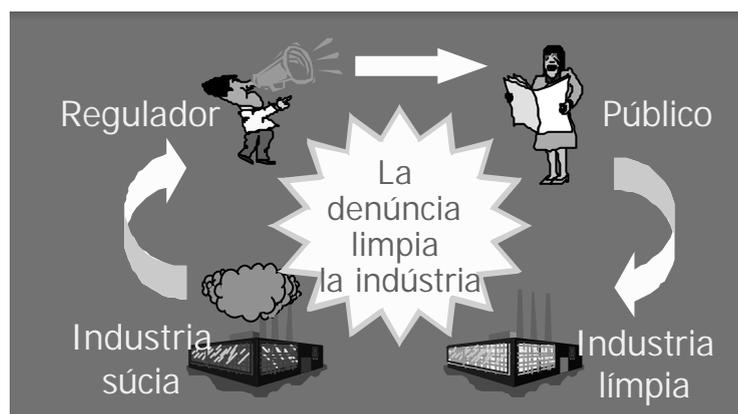
México

El sector industria aporta como contribución a las emisiones totales un 3%, en comparación con el aporte del sector transporte en 68%, en esta situación las soluciones se orientan al establecimiento de un sistema de gestión ambiental (SGA), para el sector industria cuya estructura se muestra a continuación.



Indonesia

En Indonesia no existía la capacidad institucional para reglamentar el manejo ambiental del sector privado. Por eso Indonesia adoptó un nuevo modelo basado en la información pública y la presión social para que se cumpla con las normas ambientales con la denominación Proceso PROPER.



Se establecieron criterios de calificación según el siguiente detalle:

- Dorado: tecnología limpia, minimización de residuos.
- Verde: Encima de los estándares, buen mantenimiento, orden y aseo.
- Azul: Cumplimiento de los estándares mínimos.
- Rojo: No hay cumplimiento de los estándares.
- Negro: No hay esfuerzos de control de contaminación.

Con esta iniciativa se promovió la adopción de tecnología limpia generándose incentivos de reconocimiento público para las categorías verde y dorado y la presión pública con mandato legal para las categorías negro, rojo y azul.

Perú

El Comité de gestión iniciativa del aire limpio para Lima y callao, creado mediante Resolución Suprema el 31.12.98 y conformado por CONAM, Municipalidades e instituciones vinculadas a la protección ambiental, realizaron un diagnóstico sobre la topografía, condiciones metereológicas y contaminantes más importantes que favorecen la contaminación.

La principal fuente de contaminación es la del transporte urbano, cuyas características se detallan a continuación:

Características del Transporte Urbano: Efectos sobre la competitividad de la metropoli

✍ **Congestion:**
perdida de US\$ 500 millones anuales en costos de operación y horas hombre, debido a las demoras diarias

✍ **Accidentes:**
perdida de US\$ 780 millones anuales en costos de accidentes

✍ **Contaminacion ambiental:**
responsable del 80% de las emisiones.



Dentro de las primeras acciones para un manejo adecuado de la gestión del aire se encuentran: El Reglamento Nacional de Revisiones Técnicas para los vehículos, el monitoreo de la calidad del aire y el inventario de emisiones.

Colombia

Se estableció el «Día sin carro», cuyos beneficios en la ciudad de Bogotá se muestran en la figura anterior.

Beneficios del día sin carro (Bogotá)

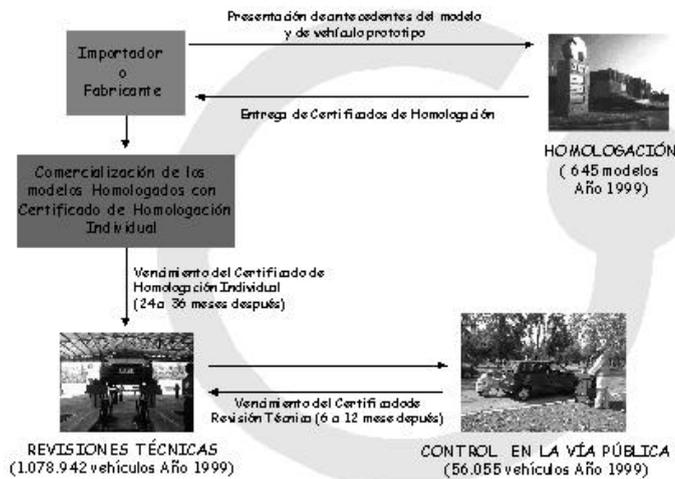
- Reducción de contaminación atmosférica de un 25% a un 30%
- Disminución de niveles de ruido entre 10 y 15 decibeles
- Reducción del stress ocasionado por la congestión vehicular
- Menos accidentes automovilísticos
- Disminución en costos de movilización.



Chile

A partir de 1999, se estableció la homologación para los vehículos importados o producidos; a través de un sistema de revisión automatizado se logró resultados concretos sobre el control de las emisiones según marca y modelo de los vehículos.

Sistema Global Control de Emisiones



PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN

1. Las etapas del Plan Regional son:
 - a. Planificación, vigilancia y control
 - b. Planificación, ejecución y evaluación
 - c. Agentes y actores claves
 - d. Leyes y reglamentos

2. El modelo basado en la información público y presión social se adoptó en:
 - a. Colombia
 - b. Chile
 - c. Indonesia
 - d. Perú

3. La evaluación final del Plan Regional de calidad del aire está previsto para:
 - a. 2008 – 2009
 - b. 2005 – 2009
 - c. 2009
 - d. 2008

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A

Absorción. En la química de coloides y de superficies, es el proceso mediante el cual dos fases entran en contacto, un componente pasa de una fase a la otra. En toxicocinética, se refiere al paso de sustancias a través de piel y mucosas de los organismos superiores desde el medio externo hacia su circulación sanguínea.

Ácido Nítrico (HNO_3). Ácido obtenido por la oxidación y reacción con agua de óxidos de nitrógeno (NO_x) en la atmósfera. Es un componente importante de la lluvias ácidas.

Ácido Sulfúrico (H_2SO_4). Ácido obtenido por oxidación de dióxido de azufre (SO_2) en presencia de humedad. Componente principal de la lluvia ácida.

Adsorción. Unión de una sustancia a la superficie de otra, mediante fuerzas físicas o químicas débiles.

Aerosoles. Suspensión en el aire u otro medio gaseoso, de partículas sólidas o líquidas de tamaño generalmente menor de una micra que, por lo mismo, tienen poca tendencia a caer y asentarse.

Agente Patógeno. Cualquier agente ambiental de naturaleza biológica, química o física capaz de causar daño o enfermedad a un organismo vivo.

Alveolitis. Inflamación de los alvéolos pulmonares.

Alveolo. Pequeña cavidad pulmonar que contiene aire y que cede oxígeno a la sangre y recibe de ella dióxido de carbono para ser exhalado. El pulmón de un hombre tiene unos 300 millones de alvéolos.

Ambiente. Conjunto de todas las condiciones externas que influyen sobre la vida, el desarrollo, y en última instancia, la supervivencia de un organismo.

Anemómetro. Instrumento para medir la velocidad del viento o su velocidad y dirección.

Antropogénicos. Que se debe a las actividades humanas.

Arritmia Cardíaca. Alteración en el ritmo regular del latido del corazón; lo más frecuente de presentarse son los extrasístoles.

Asma Bronquial. Respuesta anormal de las vías aéreas ante el contacto con ciertas sustancias, que se caracteriza por estrechamiento general de los conductos bronquiales, inflamación de sus mucosas y aumento de secreciones; se acompaña de silbidos característicos y tos.

Auditoría. Examen y chequeo completo de un instrumento, proceso, etc.

B

Benzopirenos. Hidrocarburos poliaromáticos con tres anillos de benceno, que tienen carcinogenicidad demostrada. Se forman durante la combustión del carbón; se encuentran en el hollín, el humo del tabaco y el alquitrán de hulla. Son contaminantes primarios del aire en las ciudades.

Bioaerosoles. Suspensión en el aire u otro medio gaseoso, de partículas sólidas o líquidas, que corresponden a partículas de origen natural vivo como pueden ser granos de polen, esporas, bacterias, hongos, etcétera.

Biodiversidad. Variedad de organismos vivos en un área determinada.

Blanco. Muestra que carece del compuesto de interés y que se utiliza como referencia en análisis de muestras ambientales o biológicas.

Broncoconstricción. Disminución variable del lumen de bronquios y bronquiolos por contracción involuntaria de su musculatura lisa.

Broncoespasmo. Disminución brusca, acentuada y permanente del lumen bronquial por contracción súbita de la musculatura lisa de los bronquios; puede causar asfixia grave; es manifestación típica del asma bronquial

Bronquitis. Inflamación de los tubos bronquiales producida por sustancias irritantes o por microbios.

C

Cadmio (Cd). Metal brillante de amplio uso en aleaciones y en algunos tipos de baterías. Presente en pequeñísimas cantidades en el humo del tabaco. Causa intoxicaciones por ingestión o inhalación de él o de sus compuestos.

Calibración. Valoración de la precisión de las mediciones que reporta un instrumento al compararlo con un estándar independiente.

Capacidad Vital. Máximo volumen de aire exhalado después de una inhalación profunda no forzada. En adultos la capacidad vital es de unos 5 litros.

Carbolxihemoglobina. Compuesto muy estable formado por hemoglobina y monóxido de carbono. Esto impide que la hemoglobina se oxigene y se reduce su capacidad de transporte del oxígeno, lo que causa la muerte por asfixia a nivel tisular.

Carcinogenicidad. Capacidad de una sustancia para inducir neoplasmas malignos, es decir, cáncer.

Carcinógeno. Agente químico, físico o biológico, que al actuar sobre las células puede producir un neoplasma maligno.

Cefalea. Dolor de cabeza.

CFC. Compuesto o compuestos clorofluorocarbonados de amplio uso en la industria. Su producción se está restringiendo por su efecto negativo sobre la capa protectora de ozono.

Cianosis. Signo clínico caracterizado por coloración azul pálida de piel y mucosas, debida al bloqueo de la capacidad de la hemoglobina para transportar el oxígeno. Este bloqueo puede ser causado por monóxido de carbono y compuestos nitrados.

Cilios. Filamentos protoplásmicos que recubren las vías aéreas, en forma de cabellos cortos, cuyo movimiento desplaza hacia el exterior secreciones, microbios y partículas; corresponden a un mecanismo de limpieza.

Coma. Estado de sopor profundo con abolición de conocimiento, movilidad y sensibilidad, que aparece en el curso de ciertas enfermedades o por traumatismos encefálicos.

Combustión. Proceso de oxidación habitualmente de compuestos orgánicos en presencia de oxígeno, acompañado por liberación de calor.

Compuestos Volátiles. Sustancias que se evaporan con facilidad a temperaturas inferiores a su punto de ebullición.

Concentración Máxima Permisible. Concentración ambiental de una sustancia química que no debe excederse bajo ninguna circunstancia.

Contaminante. Forma de materia o energía presente en un medio al que no pertenece, o bien, por arriba de su concentración natural en un medio no contaminado.

Contaminante Primario. Contaminante emitido en la atmósfera a partir de una fuente identificable, por ejemplo CO, NO_x, SO₂, HC y partículas.

Contaminante Secundario. Contaminante que se forma por reacción química en la atmósfera, por ejemplo ozono.

Contingencia. Estado de alerta ambiental. Estado en el cual se detectan concentraciones de contaminantes atmosféricos que se acercan a niveles en que pueden causar un daño a la salud. Puede haber diferentes niveles de alerta, desde un aviso preliminar, hasta el que requiere de acciones de emergencia.

D

Degradación. Proceso de descomposición o desgaste de la materia, por medios físicos, químicos o biológicos.

Difusión Molecular. Fenómeno de penetración y desplazamiento de un fluido a través de una sustancia; las velocidades de difusión de los gases están en razón inversa a la raíz cuadrada de sus respectivas densidades.

Dióxido de Azufre (SO₂). Producto gaseoso de la combustión de compuestos que contienen azufre, de olor sofocante fuerte. Se oxida en la atmósfera húmeda y se transforma en ácido sulfúrico.

Dispersión de los Contaminantes. Proceso por el cual un contaminante se traslada a sitios remotos de su fuente.

Dosímetro. Medidor de la cantidad de una sustancia o de una forma de energía que se administra a un organismo en una sola aplicación o en una unidad de tiempo determinada.

Dosis. Cantidad de una sustancia o de una forma de energía que ingresa al organismo; puede ser la cantidad que ingresa en una sola ocasión aunque habitualmente se expresa en la cantidad por kg de peso corporal en el periodo de un día (mg/kg/día).

E

Ecosistema. Unidad estructural, funcional y de organización, que incluye a todos los organismos y las variables ambientales bióticas y abióticas que interactúan en un área determinada.

Efecto Cardiovascular. Alteración producida en el sistema cardiovascular provocada por la presencia de algún agente externo.

Efecto Neuroconductual. Cambio sufrido en la conducta de un organismo como respuesta a la presencia de algún agente externo.

Efecto Sinérgico. El que se observa cuando el efecto combinado de dos sustancias tóxicas administradas de manera simultánea es mayor que la suma de los efectos de cada agente administrado por sí solo.

Efluente. Corriente de líquido o gas que sale de un sistema.

Electrostática. Fenómenos debidos a cargas eléctricas en reposo, que comprenden: los campos creados por dichas cargas, los valores del potencial en un punto de dichos campos y las fuerzas de atracción o repulsión entre ellas.

Emisión. Salida de contaminantes hacia el ambiente a partir de una fuente fija o móvil.

Emisiones Vehiculares. Emisiones de fuentes móviles.

Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC). Enfermedad que implica una resistencia aumentada al flujo aéreo en las vías bronquiales y una pérdida en la elasticidad de los tejidos, lo cual lleva a una disminución en la capacidad del pulmón para desempeñar la ventilación. Puede ser causada por asma bronquial crónica y bronquitis crónica.

Enfermedad Pulmonar Restrictiva. Enfermedad en la cual la expansión del pulmón está restringida, ya sea por alteración de las estructuras de soporte del tejido pulmonar (parénquima) o por afección de la pleura, caja torácica o estructura neuromuscular. Un ejemplo es la fibrosis pulmonar.

Enfisema. Lesión anatómica de los pulmones que se caracteriza por dilatación crónica e irreversible de los alvéolos; con frecuencia éstos se rompen generando cavidades o bulas; se genera una restricción en la superficie de intercambio respiratorio.

Epidemiológico. Referente al estudio de los factores que contribuyen a la aparición, distribución y frecuencia de una enfermedad en una población humana.

Erosión. Desgaste o destrucción de las rocas y el suelo por la acción del viento, el agua o el hielo, para dar partículas pequeñas que pueden ser movilizadas por los mismos elementos.

Espirometría. Medición de los volúmenes de aire en los pulmones.

Espirómetro. Instrumento que mide el volumen de un gas, utilizando un contenedor cilíndrico sumergido en agua. El volumen medido depende del desplazamiento del líquido por el gas²⁸⁴.

Estratósfera. Capa de la atmósfera que comprende desde los 10-18 km. hasta los 50 km de altura. Está situada entre la tropopausa y la estratopausa y se caracteriza por su gran sequedad y temperatura en constante aumento. Una de sus capas es la ozonósfera, que es una zona abundante en ozono, el cual absorbe las radiaciones ultravioletas del Sol, perjudiciales para la vida en la tierra.

Evaluación del Riesgo. Método para estimar la naturaleza y magnitud de un efecto adverso en una población humana como consecuencia de su exposición a un agente ambiental patógeno, especialmente una sustancia potencialmente tóxica. Más específicamente se define también como la actividad científica para valorar las propiedades tóxicas de una sustancia y las condiciones de exposición humana a dicha sustancia, tanto para cerciorarse de la posibilidad de que los expuestos presenten efectos adversos como para caracterizar la naturaleza de dichos efectos.

Exposición. Interacción entre un agente tóxico y un sistema biológico. Contacto de un agente químico con los límites exteriores del organismo. Cantidad de un agente químico o físico particular que llega al receptor.

Extracción. Separación de una sustancia disuelta en un líquido mediante otro que no se puede mezclar con éste y en el cual dicha sustancia es mucho más soluble.

F

Factor de Riesgo. Condición, característica o circunstancia que favorece un aumento en la probabilidad de que ocurra un daño.

Fibrosis Pulmonar. Inflamación crónica y formación de tejido fibroso en las paredes alveolares, generando pérdida en la elasticidad del pulmón y disnea progresiva.

Formaldehído. El primero y más sencillo de los aldehídos, llamado metanal. Gas incoloro, tóxico y de olor irritante, tiene un importante uso industrial en la

fabricación de colorantes, resinas, plásticos y tejidos. Irrita la mucosa, su solución en agua es conocida comúnmente como formol.

Fotosíntesis. Transformación, por los organismos, de compuestos inorgánicos sencillos, como agua y bióxido de carbono, en compuestos orgánicos esenciales para la vida, mediante la energía de la luz solar.

Fuentes Emisoras. Todas aquellas capaces de emitir contaminantes a la atmósfera, pudiendo tener un origen natural o antropogénico. Generalmente se clasifican en fijas, por ejemplo una industria, tiradero o zona agrícola y móviles, por ejemplo vehículos automotores.

G

Gases Ácidos. Son gases con presencia de iones hidrógeno (H⁺), producto principalmente de gases de combustión o de procesos industriales que se combinan con el vapor de agua del aire. Entre ellos se encuentran los nítricos, sulfúricos, halogenuros, acético, propiónico, butírico, etc.

H

Halocarburos, Haluros o Halogenuros. Cualquier compuesto orgánico con uno o más compuestos halógenos.

Halógenos. Cualquiera de los cinco elementos (flúor, cloro, bromo, yodo y astato) que pertenecen al grupo VII de la tabla periódica de los elementos.

Hemoglobina. Proteína que da el color rojo a la sangre y que realiza el transporte de oxígeno hacia los tejidos.

Hidrocarburos. Sustancia orgánica en cuya estructura intervienen exclusivamente átomos de carbono e hidrógeno. De los hidrocarburos derivan todos los compuestos orgánicos.

Hidrocarburos Alifáticos. Son aquellos hidrocarburos en los cuales los átomos de carbono que forman la base de la estructura están organizados en forma de cadenas, las que pueden ser lineales o ramificadas.

Hidrocarburos Aromáticos. Son aquellos hidrocarburos en los que los átomos de carbono forman anillos de seis átomos en los cuales las dobles ligaduras alternan con las sencillas. Este arreglo de las ligaduras confiere a los compuestos que lo poseen una estabilidad muy elevada y propiedades fisicoquímicas y toxicológicas especiales. Los hidrocarburos aromáticos están entre los compuestos de origen antropogénico de mayor interés toxicológico.

Hidrocarburos Poliaromáticos, Policíclicos o Polinucleraes (PAH). Son aquellos hidrocarburos aromáticos que tienen dos o más anillos aromáticos con dos átomos de carbono comunes a cada dos anillos, por ejemplo, naftaleno,

antrazeno o benzopireno. Son contaminantes atmosféricos de gran importancia por sus propiedades toxicológicas, en particular, por su carcinogenicidad.

Hidrógeno (H₂). Gas incoloro e inodoro, que puede reaccionar violentamente con el aire o con oxígeno.

Hollín. Partículas finas de carbón, agrupadas en cadenas largas, que se generan en la combustión incompleta.

Humo. Aerosol de partículas sólidas o líquidas, en general de menos de una micra de diámetro, que se forma por la combustión incompleta de un combustible, frecuentemente, carbón. Por extensión, el conjunto de gases y partículas originados como resultado de un proceso químico o metalúrgico que se emite al ambiente.

I

Insolación. Cantidad de radiación solar incidente por unidad horizontal de área en una altura específica dada.

Inventario de Emisiones. Conjunto de datos (ya sea obtenidos mediante determinaciones específicas o, más comúnmente, por estimación), a partir de los cuales se puede establecer un mapa más o menos detallado de la distribución de las emisiones en un área determinada, con la ubicación de las fuentes más importantes y las cantidades que emiten.

Inversión Térmica. Fenómeno atmosférico natural en el cual la temperatura del aire no disminuye con la altura, como es lo más común. La inversión térmica dificulta la dispersión de los contaminantes atmosféricos y agrava los incidentes de contaminación atmosférica.

Ionizar. Producir iones. Es decir, producir átomos o agrupaciones atómicas que por exceso o falta de electrones han adquirido carga eléctrica.

L

Límite de Exposición. Aquel valor de concentración que no deberá excederse en la exposición a una sustancia.

Linfocito T. Célula mononuclear de 7-12 micrones, de núcleo con cromatina densamente empaquetada y una pequeña envoltura de citoplasma.

Lluvia Ácida. Aquella precipitación que acarrea partículas de diversos contaminantes atmosféricos de carácter ácido, en particular, pero no exclusivamente, ácido sulfúrico y ácido nítrico, por lo cual su pH es inferior a 7. Afecta adversamente la estabilidad de diversos ecosistemas, en particular lagos y bosques; puede disolver algunos metales pesados y conducirlos a las fuentes de aprovisionamiento de agua o hacia mantos freáticos.

M

Metal Pesado. Aquél de densidad específica elevada, generalmente superior a 4. Muchos de ellos son tóxicos cuando se encuentran como contaminantes ambientales, es decir, en exceso por sobre sus concentraciones basales.

Metano (CH₄). Gas incoloro, inodoro e inflamable que es el más sencillo de los hidrocarburos alifáticos saturados, es decir de los alcanos. Es el principal componente del gas natural, forma mezclas explosivas en el aire y contribuye al efecto invernadero.

Método de Referencia. Se definen como los métodos de medición específicos, para la completa determinación de calidad de aire, que se basan en experiencia fundamentada por varios años y pueden ser utilizados por diferentes usuarios. Contemplan también el procedimiento de calibración utilizando un estándar primario.

Método Equivalente. Son aquellos métodos de medición que han sido sujetos a pruebas adecuadas (especificadas legalmente) y cumplen con los requerimientos mínimos de instrumentos de medición de calidad de aire.

Monitorear. Seguir periódicamente con mediciones la presencia de algún componente; en este caso, de un contaminante.

Monóxido de Carbono (CO). Gas producido por la combustión incompleta de carbón o de sustancias orgánicas. Se produce como contaminante en la ciudades, especialmente por los automóviles. También durante los incendios forestales.

Morbilidad. Cualquier desviación, subjetiva u objetiva, de un estado de bienestar fisiológico o psicológico. Estudio estadístico de las personas que enferman en un lugar y período determinados.

Mortalidad. Número y causa de las muertes que ocurren en una población en un tiempo y región geográfica determinados.

Muestra. Parte seleccionada que se separa de un conjunto y que se considera representativa del mismo conjunto al que pertenece.

Muestreador. Instrumento o aparato que sirve para tomar muestras.

N

NIVEL DE ALERTA. Concentración de contaminantes atmosféricos que la autoridad competente ha decidido que se acerca a la que pueden causar un daño a la salud o es un riesgo para ella.

Nivel Umbral. Concepto teórico para la concentración ambiental, o bien, la dosis de una sustancia, que representa la transición entre la exposición máxima que no produce efectos adversos y la exposición mínima que produce un efecto adverso bajo condiciones definidas.

Norma de Calidad de Aire. La máxima concentración de una sustancia potencialmente tóxica que puede permitirse en el aire durante un período definido.

Norma de Emisión. Límite cuantitativo para la descarga al ambiente de una sustancia potencialmente tóxica a partir de una fuente en particular.

O

Onda Electromagnética. Proceso por el cual se propaga energía (por ejemplo, la de la luz visible, rayos x, ondas de radio, etc.).

Oxidante. Sustancia capaz de causar la oxidación de otra. Los oxidantes atmosféricos incluyen ozono, bióxido de nitrógeno y peróxidos orgánicos.

Oxidantes Fotoquímicos o Fotooxidantes. Oxidantes producto de reacciones químicas que ocurren por influencia de energía radiante, ya sea del sol o de otra fuente. En el caso de las atmósferas contaminadas, mediante este tipo de procesos se producen numerosos contaminantes secundarios. Al conjunto de estos productos se le conoce como "smog fotoquímico".

Óxidos de Nitrógeno (NOx). Gases producidos por oxidación a altas temperaturas del nitrógeno del aire.

Ozono (O₃). Molécula formada por tres átomos de oxígeno.

P

PAN. Nitrato de Peroxiacetilo. Oxidante tóxico del smog fotoquímico que se forma en la atmósfera, en presencia de luz solar, a partir de las reacciones químicas de los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno, resultado principalmente de las emisiones de vehículos automotores.

Partisol 2000. Muestreador de partículas de bajo volumen, tipo impactor, semiautomático. Cuenta con cabezales intercambiables PM10, PM2.5 y puede utilizarse en interiores y exteriores. Método de referencia de la EPA para PM10.

Peligro. Capacidad intrínseca o potencial de una situación, condición o agente ambiental para producir un daño a los organismos vivos. En las sustancias químicas el peligro está dado por el tipo de toxicidad propio de cada sustancia, y además por la dosis y la duración de la exposición.

Peróxido. Compuestos binarios que contienen dos átomos de oxígeno cuyo número de oxidación es -1, en lugar de -2 como es habitual en los restantes óxidos. Son poderosos oxidantes.

pH. Medida de la acidez o la alcalinidad de una solución. Se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno (H⁺). La escala va de 0 a 14 unidades, correspondiendo el valor de 7 a la neutralidad.

Plomo (Pb). Metal pesado, grisáceo, maleable.

Población. En general, cualquier grupo de individuos. En epidemiología, número total de las personas que habitan en un país, ciudad o región bajo estudio; también grupo de individuos que presentan alguna característica en común (niños menores de 5 años, mujeres en edad reproductiva, trabajadores hombres entre 20 y 50 años de edad, etc.).

Polen. Polvo fino producido por las flores, en el cual cada partícula es una célula masculina para la fertilización. Se puede transportar mediante el viento, los insectos los pájaros o el agua. En personas hipersensibles, algunas especies pueden causar la llamada "fiebre del heno". En algunas regiones el polen es un contaminante atmosférico de importancia.

Polvo. Término general que se utiliza para definir a las partículas sólidas de dimensiones y orígenes variables, que se encuentran en la atmósfera, en la cual pueden permanecer en suspensión por algún tiempo (polvo suspendido), o bien, pueden depositarse (polvo sedimentable).

PPM. Partes por millón. Equivale, por ejemplo, a un gramo en una tonelada.

Q

Química Atmosférica. Rama de la meteorología que se dedica a estudiar la composición química de la atmósfera y los procesos químicos y fotoquímicos que ocurren en ella.

R

Radiación. Emisión o transferencia de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas.

Radiación Beta. Corriente de partículas negativas. Se consideran como electrones de alta velocidad. Son emitidas por el núcleo de un átomo. Se les llama rayos beta.

Radiación Ionizante. Radiación, corpuscular o electromagnética, que puede inducir la ionización de manera directa (por medio de electrones, protones, etc., que tienen suficiente energía cinética para causar ionización durante sus colisiones con las moléculas de los materiales que atraviesan) o indirecta (por medio de partículas neutras, sin carga, como fotones o neutrones, que pueden liberar partículas directamente ionizantes o iniciar transformaciones nucleares) o por una mezcla de ambas. Ocurre de manera natural en la atmósfera debido a los rayos cósmicos y a la desintegración de los elementos radiactivos de la corteza terrestre. También puede ser resultado de las actividades del hombre; por ejemplo, las explosiones nucleares o escapes de materiales radiactivos.

Pueden causar daño severo a las células y al material genético y producir mutaciones o cáncer.

Rayos X. Radiaciones electromagnéticas que se producen por la desaceleración de partículas cargadas o por las transiciones electrónicas en un átomo, son similares en naturaleza a la luz ultravioleta, pero de menor longitud de onda y, por lo tanto, de mayor energía.

Reacción Fotoquímica. Reacción desencadenada por acción de la luz, ya sea visible o ultravioleta. Este tipo de reacciones son responsables de la formación del smog fotoquímico en las atmósferas contaminadas.

Relación Dosis-Efecto. Relación que existe entre el incremento progresivo de la dosis de un agente patógeno exógeno y la aparición progresiva de efectos adversos diferentes en el organismo expuesto, los que en general tienden a ser más graves a medida que sube la dosis. Las sustancias tóxicas producen cada una un número variable de efectos adversos muy propio de cada sustancia.

Relación Dosis-Respuesta. Relación que existe entre el incremento de la dosis de un agente patógeno y el incremento progresivo de la proporción de individuos de una población expuesta que manifiesta un efecto adverso específico. Habitualmente se usa el término curva dosis-respuesta. Una sustancia que genera cinco efectos adversos diferentes a cinco dosis diferentes, tendrá cinco curvas dosis-respuesta.

Respiración. Función del aparato broncopulmonar, apoyada por órganos auxiliares, mediante la cual se efectúa el intercambio de gases entre el medio externo (aire) y el medio interno (sangre), especialmente el ingreso de oxígeno y la eliminación de anhídrido carbónico y de otros gases potencialmente nocivos.

Respuesta. Proporción de una población que ha estado expuesta a una dosis dada de un agente ambiental patógeno, que manifiesta un efecto adverso específico.

Riesgo. Probabilidad estadística de que ocurra lesión, enfermedad o muerte.

Riesgo Ambiental. Posibilidad de lesión, enfermedad o muerte como consecuencia de la exposición a un factor ambiental peligroso.

S

Sensores Electroquímicos. Dispositivos compuesto por celdas sensibles que captan o detectan la corriente eléctrica generada en una reacción química.

Sinergismo. Interacción entre dos sustancias cuyo resultado es que el efecto combinado de ellas sobre el organismo es mayor que la suma de los efectos individuales. El efecto resultante se llama efecto sinérgico.

Smog o Neblumo. Originalmente el término se refería a una mezcla de niebla y humo. Actualmente se utiliza para designar al smog fotoquímico.

Smog Fotoquímico. Neblina irritante que resulta de la radiación solar sobre algunos contaminantes primarios del aire, en particular, los procedentes de los motores de combustión interna.

T

Toxicidad. Capacidad inherente de una sustancia para causar daño a un organismo. Para definir la toxicidad en términos cuantitativos se requiere conocer la cantidad de sustancia administrada o absorbida (la dosis), la vía por la cual ingresa la sustancia (inhalación, ingestión, etc.), la distribución y frecuencia en el tiempo de la administración (dosis única o repetida), el tipo y gravedad del daño y el tiempo necesario para causarlos.

Toxicología. Disciplina que estudia los efectos nocivos de los agentes químicos (agentes tóxicos) en los sistemas biológicos, así como la magnitud del daño en función de la exposición de los organismos a dichos agentes. Se ocupa también de la naturaleza y los mecanismos de la lesión y de la evaluación de los diversos cambios biológicos producidos por dichos agentes.

Toxicología Ambiental. Estudio de los efectos adversos que los agentes tóxicos presentes en el ambiente ejercen sobre el organismo humano.

Tropófera. Parte inferior de la atmósfera que se extiende desde la superficie terrestre hasta una altura aproximada de 9 km. en los polos y 17 km. en el ecuador. En ella la temperatura disminuye de manera regular conforme aumenta la altura.

V

Veleta Convencional. Pieza de metal generalmente con forma de flecha, que puede girar sobre un eje vertical y se utiliza para indicar la dirección del viento. Se acopla a un potenciómetro de precisión y a un módulo electrónico. Cuando el viento ejerce un cambio de dirección a la veleta, ésta transmitirá un cambio de dirección al potenciómetro de precisión, que cambiará de resistencia, lo que generará un cambio de voltaje que será registrado y transmitido por el módulo electrónico, por cada grado de cambio de dirección que sufra la veleta.

Vigilancia. Proceso sistemático, ordenado y planificado de observación y medición de variables específicas para describir, analizar e interpretar los resultados con propósitos definidos. Cuando las variables son ambientales se habla de vigilancia ambiental y cuando están relacionadas con elementos de salud y enfermedad en las poblaciones humanas se la denomina vigilancia epidemiológica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU. EPA. 2003. Factores de emisión. En: <http://www.epa.gov/chief>
2. Albert, Lilia A. 1997. Toxicología ambiental. Edit. UTA. México.
3. Banco Mundial. 1996. Eliminación del plomo en la gasolina en América Latina y el Caribe; Informe situacional. Washington, DC: Banco Mundial, Programa de Asistencia para la Gestión del Sector de Energía (ESMAP), División Petróleo y Gas, Departamento de Industria y Energía.
4. Buonicore, A. y Davis, W. 1994. Air pollution engineering manual. Edit. Van Nostrand Reinhold. New York.
5. CEPIS. 1999. Curso de orientación para el control de la contaminación del aire; manual de autoinstrucción. Adaptado por Marcelo E. Korc de "SI:422 Air pollution control orientation course" del Instituto de Capacitación de la Contaminación del Aire (APTI) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Lima: CEPIS.
6. CEPIS. 1982. Red Panamericana de Muestreo de la Contaminación del Aire (REDPANAIRES), Informe final 1967-1980. Lima: CEPIS.
7. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. 2003. En: <http://www.esi.unav.es/asignaturas/ecología/hipertexto/00General/indiceGral.html>.
8. Consejo Nacional del Medio Ambiente. CONAM. 2000. Deterioro de la calidad del aire. En: <http://www.conam.gob.pe/geo/ii1.htm>
9. Contaminación Atmosférica. 2003. En: <http://www.biologiamango.metropoliglobal.com/Atmosfera/>
10. Contaminantes atmosféricos. 2003. En: <http://www1.ceit.es/asignaturas/cursos/ii/cuarto/ciemedamTEMA2contamatmosf.html>
11. Econopoulos, A. P. 1993. Assessment of sources of air, water, and land pollution. OMS. Ginebra, Suiza.

- 
- 
12. Educación Ambiental en la República Dominicana. 2003. En: <http://www.jmarcano.com/update.html>
 13. Instituto Cuanto. USAID. 2002. El medio ambiente en el Perú. Edit. Desa S.A., Lima-Perú.
 14. Korc, Marcelo E. 2000. Situación de los programas de gestión de calidad del aire urbano en América Latina y El Caribe. Lima: CEPIS.
 15. La contaminación del aire en la Ciudad de Buenos Aires. 2003. En: <http://usuarios.lycos.es/malosaires/contaminación-atmosferica.html>
 16. OMS; PNUMA. GEMS/AIRE. 1993. Programa Mundial de Vigilancia y Evaluación de la Calidad del Aire Urbano. Ginebra, OMS.
 17. Schwella, Dietrich. 1997. The Air Management Information System (AMIS) and a global air quality partnership. Ginebra: OMS.
 18. Weitzenfeld, Henyk; Romieu, Isabelle. 1990. Resultados de la encuesta sobre la situación de la contaminación del aire en América Latina y El Caribe. Metepec: ECO.



Este libro se terminó de imprimir en la Imprenta
Grafiser, Lima - Perú.

