

Bolivia Ecológica

REVISTA TRIMESTRAL N° 22

AÑO 2001



CONTAMINACIÓN DEL AIRE

- Introducción
- ¿Qué es la atmósfera?
- Estratos de la atmósfera
- Composición de la atmósfera
- ¿Qué es la contaminación atmosférica?
- Contaminantes de la atmósfera
- Dispersión de los contaminantes en la atmósfera
- Estabilidad atmosférica
- Efectos de la contaminación atmosférica
- Efectos globales de la contaminación
- Legislación ambiental sobre la contaminación atmosférica
- Límites permisibles de la calidad del aire
- Monitoreo
- ¿Qué es el monitoreo?
- Definición de los parámetros ambientales
- Definición del número y sitios de muestreo
- Normas nacionales de calidad del aire de varios países de América y guías de la OMS
- Localización de los sitios de muestreo
- Determinación de tiempos de muestreo
- Instrumentación y técnicas para monitoreo atmosférico
- ¿Cómo podemos colaborar?
- Glosario
- Bibliografía



FUNDACIÓN SIMÓN I. PATIÑO

EDITOR

FUNDACIÓN SIMÓN I. PATIÑO

DIRECTORA DE LA PUBLICACIÓN

Carmiña Montoya Köster

ASESORES

Mgr. Denis Bascope

Mgr. Martha Achá

Claudia Veltzé

CO - AUSPICIO

Banco Santa Cruz

COLABORACIÓN

Daisy Arévalo

Cristina Torrico Laserna

FOTOGRAFIA PORTADA

Mgr. Christian Bomblat

DISEÑADOR GRÁFICO

Vladimir Morató Torrico

INDICE

CONTAMINACIÓN DEL AIRE

• Introducción	pág	1
• ¿Qué es la atmósfera?	pág	2
• Estratos de la atmósfera	pág	2
• Composición de la atmósfera	pág	3
• ¿Qué es la contaminación atmosférica?	pág	3
• Contaminantes de la atmósfera	pág	4
• Dispersión de los contaminantes en la atmósfera	pág	10
• Estabilidad atmosférica	pág	11
• Efectos de la contaminación atmosférica	pág	11
• Efectos globales de la contaminación	pág	14
• Legislación ambiental sobre la contaminación atmosférica	pág	16
• Límites permisibles de la calidad del aire	pág	18
• Monitoreo	pág	19
• ¿Qué es el monitoreo?	pág	19
• Definición de los parámetros ambientales	pág	19
• Definición del número y sitios de muestreo	pág	19
• Normas nacionales de calidad del aire de varios países de América y guías de la OMS	pág	20
• Localización de los sitios de muestreo	pág	21
• Determinación de tiempos de muestreo	pág	21
• Instrumentación y técnicas para monitoreo atmosférico	pág	22
• ¿Cómo podemos colaborar?	pág	24
• Glosario	pág	26
• Bibliografía	pág	27

INTRODUCCIÓN

El problema de la contaminación atmosférica, se remonta al descubrimiento del fuego. En la antigüedad las personas encendían fogatas en sus cuevas y cabañas para calentarse, cocinar, etc., contaminando de esta manera el aire con el humo nocivo.

Ya en el año 61 a.C., el filósofo romano Séneca escribía sobre el "aire cargado de Roma" y en el siglo XI se llegó a prohibir la quema de carbón en la ciudad de Londres.

En los últimos 200 años, pero principalmente en los últimos 50, la historia humana señala la más extraordinaria revolución técnica que ha traído como consecuencia profundos daños ambientales como consecuencia de la explotación a gran escala de nuestros recursos naturales y a la contaminación de innumerables ecosistemas.

A inicios del siglo XX, el humo y las cenizas producidos por la quema de combustibles en las plantas de energía fue el principal agente de contaminación del aire. Se presentaron entonces importantes problemas de salud a causa de la contaminación del aire en países industrializados como Inglaterra y Estados Unidos.

En la actualidad, las fuentes de contaminantes atmosféricos se han diversificado, además de las plantas generadoras de energía a partir del carbón e hidrocarburos, se pueden contar también a las fundiciones de minerales, a diversas industrias químicas como las refinerías de petróleo, a los mismos hogares que cuentan con calefacción, a la agricultura y al enorme parque automotor presente en todos los países del globo.

Los efectos más preocupantes de la contaminación atmosférica son aquellos que conciernen a la salud pública. En el hombre, es el sistema respiratorio el que más se afecta por la exposición a una atmósfera contaminada. Los grupos poblacionales de mayor riesgo son generalmente los niños pequeños, los ancianos y principalmente las personas que sufren de deficiencias del sistema respiratorio.

A la fecha, diferentes medidas de control de la contaminación atmosférica han sido puestas en práctica en casi todos los países del mundo, aunque con diferentes grados de alcance y eficiencia. Dichas medidas consisten principalmente en controles en industrias y vehículos automotores, seguidos de imposiciones a aquellos que contaminan, obligándolos a optar por tecnologías más respetuosas del medio ambiente.

Sin embargo, las cantidades de gases y partículas que globalmente son vertidas a la atmósfera se incrementan. El crecimiento poblacional; el uso cada vez más popularizado de vehículos de transporte individual en lugar de los públicos; la dificultad de los gobiernos para hacer respetar las leyes ambientales por motivos económicos y de un modo general, nuestro modo de vida cada vez más "consumidor" de energía, hacen que el problema de la contaminación del aire afecte a cada vez más ciudades del planeta. Los centros urbanos de nuestro país no se hallan con seguridad, excluidos de este problema.



Martha Achá

Contaminación por partículas

¿QUÉ ES LA ATMÓSFERA?

Entendemos por atmósfera a la envoltura gaseosa que rodea a la tierra. Esta consiste en una mezcla mecánica de gases en la que se encuentra el oxígeno, gas indispensable para la mayoría de los seres vivos que habitamos en el planeta.

Aunque casi toda la materia que compone la atmósfera (aproximadamente el 97%) se encuentra en los primeros 30 km a partir de la superficie terrestre, el límite superior de la atmósfera se extiende hasta más de 16 000 km distancia que supera el diámetro de la tierra.

La atmósfera está dividida en: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera, exosfera y magnetosfera.

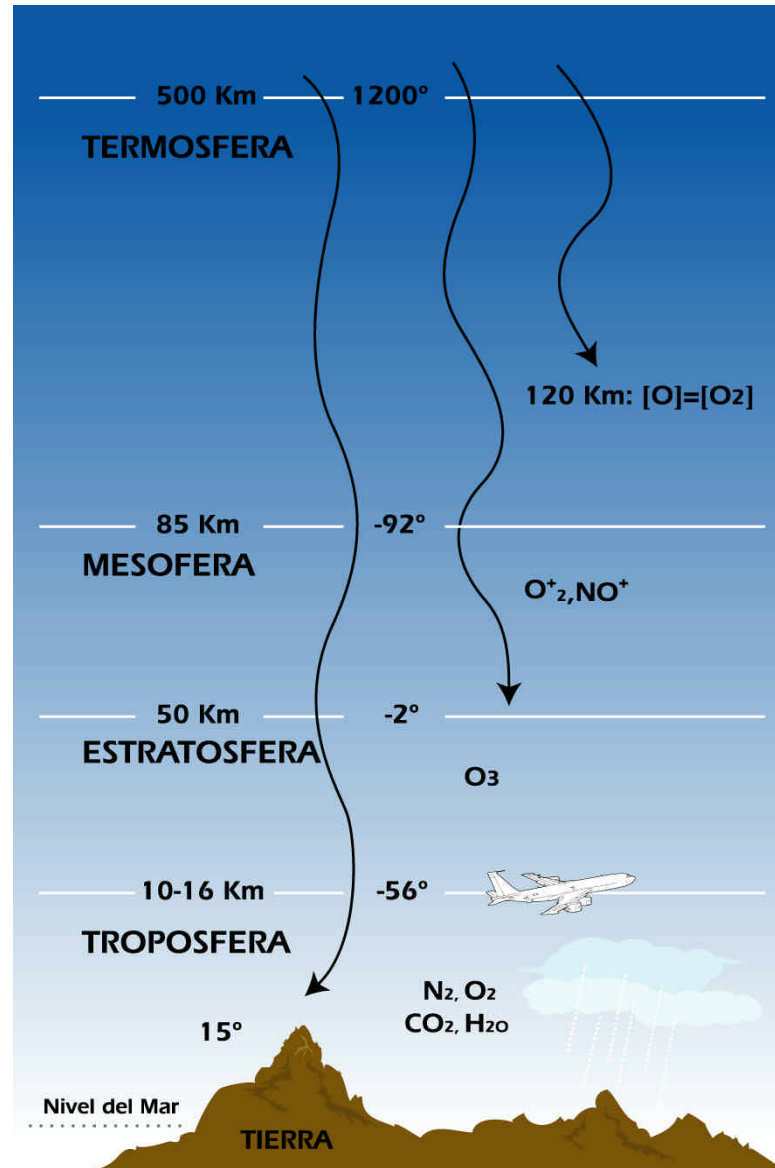
La troposfera, es la capa más baja de la atmósfera, por estar más próxima a la tierra, en ella nos movemos y respiramos, es la capa donde se producen los fenómenos meteorológicos que determinan el clima.

En general, la mayor parte de las actividades del hombre se realizan en los primeros 5 km de este estrato; los contaminantes generados por estas actividades se liberan directamente en la troposfera donde son mezclados y transportados.

La capa inmediatamente superior es la estratosfera, que también es importante para la vida en la tierra, debido a que en ella se encuentra el ozono que nos protege de las radiaciones ultra violeta del sol.

Es importante recordar que la vida en la tierra pudo pasar de los mares a poblar la superficie seca del globo terráqueo, una vez que la capa de ozono se había formado en la estratosfera.

ESTRATOS DE LA ATMÓSFERA



Fuente: Stanley Wnaham, 1997

COMPOSICIÓN DE LA ATMÓSFERA

COMPONENTE	FÓRMULA	PRESENCIA EN LA ATMÓSFERA
Nitrógeno	N ₂	78.084 ± 0.004% ¹
Oxígeno	O ₂	20.948 ± 0.0002%
Argón	Ar	0.934 ± 0.001%
Vapor de agua	H ₂ O	Variable (% ó ppm)
Dióxido de Carbono	CO ₂	325 ppm
Neón	Ne	18 ppm
Helio	He	5 ppm
Kriptón	Kr	1 ppm
Xenón	Xe	0.08 ppm
Metano	CH ₄	2 ppm
Hidrógeno	H ₂	0.5 ppm
Óxido nitroso	N ₂ O	0.3 ppm
Monóxido de Carbono	CO	0.05 - 0.2 ppm
Ozono	O ₃	0.02 - 10 ppm
Amoniaco	NH ₃	4 ppb
Dióxido de Nitrógeno	NO ₂	1 ppb
Dióxido de Azufre	SO ₂	1 ppb
Sulfato de Hidrógeno	H ₂ S	0.05 ppb

Composición promedio de la atmósfera seca por debajo de 25 km

Como se observa en la tabla anterior, la atmósfera seca se compone principalmente de nitrógeno, oxígeno y argón, que juntos constituyen más del 99,9 % de su volumen. Dicha composición es sumamente uniforme hasta una altura que supera los 80 km. Se describe una atmósfera seca porque el vapor de agua se presenta en proporciones muy variables que oscilan entre 1 y 6% en volumen, de acuerdo a las condiciones meteorológicas y geográficas.

Están presentes también un cierto número de gases en concentraciones relativamente pequeñas y a veces variables como: el dióxido de carbono, el ozono, el metano y otros gases nobles. En proporciones aún menores, se puede contar también compuestos de la familia del nitrógeno y del azufre además de las partículas en suspensión.

Todos los componentes gaseosos de la baja atmósfera se hallan perfectamente mezclados unos con otros, lo cual nos permite estudiar la atmósfera seca como si se tratara de un único gas.

¿QUÉ ES LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA?

La contaminación atmosférica es la adición de cualquier sustancia que altere las propiedades físicas, químicas y/o biológicas de la atmósfera, que puede afectar negativamente al hombre, a las especies animales y a los vegetales.

La contaminación del aire puede representarse como un sistema integrado por tres componentes básicos: la fuente de emisión, la atmósfera y los receptores.



Componentes básicos de la contaminación

Fuente: Achá, Martha, 1994

Se denomina **fente de emisión** al punto de origen de los contaminantes, entre los que podemos citar : el transporte motorizado, ciertas formas de producción de energía eléctrica, la incineración de residuos, el consumo de combustibles industriales y domésticos y algunos procesos industriales.

Los contaminantes son emitidos a la **atmósfera** que es el medio donde se transportan, diluyen y transforman física y químicamente.

Posteriormente, los contaminantes pueden afectar personas, animales, plantas o materiales que son los **receptores**.

CONTAMINANTES DE LA ATMÓSFERA

Se considera sustancia contaminante atmosférica, a cualquier elemento o compuesto químico, natural o artificial, capaz de permanecer o ser arrastrado por el aire, presentándose en la atmósfera en forma de gases o partículas.

El material particulado está compuesto por pequeñas partículas líquidas o sólidas de polvo, humo, niebla, cenizas volantes, entre otros.

Los gases incluyen sustancias como el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O₃) y compuestos orgánicos volátiles.

Los contaminantes de la atmósfera se pueden también clasificar en primarios y secundarios y son clasificados generalmente de acuerdo a:

- Sus características químicas y físicas
- Sus efectos
- Sus fuentes de emisión

Los contaminantes primarios son aquellas sustancias que son emitidas directamente a la atmósfera como resultado de procesos de

combustión, procesos industriales, procesos de erosión, incendios y otros fenómenos naturales.

La interacción de los contaminantes primarios entre sí con la atmósfera, en especial con la radiación solar y el vapor de agua sufren transformaciones química y fotoquímicas que originan los contaminantes secundarios.

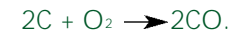
Los contaminantes secundarios son el ozono troposférico (O₃), las partículas secundarias que son el resultado de procesos de aglomeración y dilución de sustancias ácidas como el ácido nítrico (HNO₃) y el ácido sulfúrico (H₂SO₄), constituyendo éstos últimos los principales componentes de la lluvia ácida.

Para una mejor descripción de los principales contaminantes atmosféricos, los agruparemos en contaminantes gaseosos, material particulado y metales pesados.

Contaminantes gaseosos

Monóxido de Carbono (CO)

Es un producto del uso de combustibles fósiles, se forma por la combustión incompleta de carbono o de sus compuestos:



En los vehículos con motores de combustión interna es común que se forme monóxido de carbono, en consecuencia, este producto se acumula en zonas urbanas, cerca de las vías rápidas y de las calles de gran movimiento y su concentración varía conforme aumenta o disminuye el tránsito.

La principal fuente de emisión de monóxido de carbono son los medios de transporte, más del 90% de este producto proviene de los automóviles y el resto de vehículos como aviones, camiones y ferrocarriles a diesel.

Dióxido de Carbono (CO₂)

Es un gas incoloro que forma parte de la atmósfera en su estado natural, no es una sustancia tóxica, ni dañina y no reacciona con ningún otro componente de la atmósfera, pero es el principal causante del efecto invernadero, es decir, que a largo plazo puede provocar cambios en el clima, acarreado consecuencias en forma indirecta en los ecosistemas y en última instancia en los seres humanos.

El CO₂ se libera en forma natural desde los océanos, el suelo, durante el proceso de respiración de los seres humanos, los animales y en la descomposición de la materia orgánica.

Una vez en la atmósfera, puede permanecer en ella indefinidamente, hasta que sea absorbido por los océanos o por las plantas cuando realizan la fotosíntesis. Todo este proceso, constituye parte del ciclo natural del carbono, de manera que la cantidad de CO₂ en el aire permanece constante en un equilibrio dinámico.

El CO₂ se repone a la atmósfera a través de las siguientes actividades:

- La tala de bosques disminuye la capacidad de la naturaleza de eliminar el CO₂ atmosférico.
- La quema de combustibles fósiles y biomasa como fuente de energía, que aumenta en forma considerable la cantidad de gas en la atmósfera.

Óxidos de Azufre (SO_x)

Es un contaminante primario, que se produce por la combustión de carbón, leña, petróleo que contienen azufre:



El SO₂ también se produce en la refinación de algunos minerales que contienen azufre, principalmente del cobre (Cu).



Centro de Ecología Simón I. Patiño

Las emisiones vehiculares son la fuente principal de la contaminación en el Departamento de Cochabamba



Centro de Ecología Simón I. Patiño

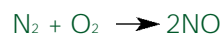
El parque automotor es una fuente importante de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos volátiles

El contaminante más importante del aire derivado del azufre es el dióxido de azufre (SO_2). La mayor parte de los óxidos de azufre (SO_x) son antropogénicos y por lo general provienen de la combustión del carbón y del petróleo en las plantas generadoras de electricidad (carboeléctricas y termoeléctricas).

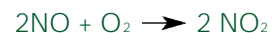
Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Los óxidos de nitrógeno son contaminantes primarios del aire. El dióxido de nitrógeno (NO_2) es un gas de color rojizo, de olor fuerte y asfixiante parecido al cloro. En cambio, el monóxido de nitrógeno (NO) también llamado óxido nítrico, es un gas incoloro e inodoro.

El óxido nítrico se forma en el aire mediante la reacción de oxígeno con el nitrógeno:



Esta reacción ocurre a altas temperaturas durante el uso de combustibles fósiles. El NO_2 se forma por la reacción del óxido de nitrógeno (NO), con el oxígeno (O_2) del aire:



Ciertas bacterias emiten una gran cantidad de óxido nítrico hacia la atmósfera, que constituye una fuente natural que no es posible controlar.

La mayor parte de los óxidos de nitrógeno producidos por fuentes artificiales se derivan de las plantas generadoras de energía eléctrica, en las que la alta temperatura de la combustión de los energéticos facilita la formación de estos óxidos.

Ozono (O_3)

Aunque en la estratosfera (por encima de los 10 km de altitud) se ha formado naturalmente una capa de ozono que nos protege de los embates de la radiación solar; en la superficie debido a la quema de combustibles fósiles, se generan importantes cantidades de ozono, llamado troposférico. Este ozono, cuando es respirado por el hombre, los animales o entra en contacto con las plantas, puede ser extremadamente nocivo a determinadas concentraciones.

La fuente fundamental, aunque indirecta del ozono troposférico son los motores de combustión interna, principalmente de los automóviles. En realidad, los automóviles liberan primordialmente monóxido de nitrógeno (que posteriormente se transforma en dióxido de nitrógeno (NO_2)) y que junto a los hidrocarburos y a la radiación solar producen el ozono.



Formación del ozono

En la siguiente tabla, se presenta un resumen de los principales contaminantes gaseosos del aire y sus fuentes:

GAS	FUENTES ANTROPOGÉNICAS	FUENTES NATURALES
Dióxido de azufre (SO ₂)	Combustión de carbón y petróleo, cocido de minerales sulfurados	Volcanes
Ácido sulfídrico (H ₂ S)	Procesos químicos, tratamiento de aguas negras	Volcanes, acción biológica en pantanos
Monóxido de carbono (CO)	Combustión, principalmente escapes de automóviles	Reacciones de terrenos en incendios forestales
Óxido de nitrógeno (NO ₂)	Combustión	Acción bacteriana en suelos
Amoniaco (NH ₃)	Tratamiento de desechos	Descomposición biológica en suelos
Hidrocarburos	Combustión, escapes, procesos químicos	Procesos biológicos
Dióxido de carbono (CO ₂)	Combustión	Descomposición biológica

Hidrocarburos

Los hidrocarburos son combinaciones de carbono e hidrógeno y se consideran como contaminantes primarios, entran al aire por evaporación de los productos de combustibles fósiles, como la gasolina. Los vehículos de transporte son la principal fuente de hidrocarburos. Sin duda, la mayor producción de hidrocarburos se debe a las actividades de la industria petrolera.

El humo producido por los automóviles contiene cerca de 200 hidrocarburos, que se emiten por evaporación del combustible y en forma de hidrocarburos no quemados a través del escape.

Material Particulado

Se entiende por material particulado a las sustancias orgánicas e inorgánicas que se encuentran dispersas en la atmósfera, en forma de pequeñas partículas y gotículas, de diferente composición y tamaño.

A veces los términos partícula y/o aerosol se utilizan indistintamente, entendiéndose por aerosol a las dispersiones de sólidos o líquidos en un medio gaseoso. Se entiende también por partícula o adiciones particuladas del aire, a sustancias sólidas y líquidas dispersas en el aire externo, pudiendo encontrarse en forma de neblina, humo, emanaciones y polvos (VDI, 1974).

Es importante conocer la procedencia de las partículas, ya que éstas pueden ser originadas por procesos naturales o por procesos antropogénicos.

Los procesos naturales que directamente introducen material particulado a la atmósfera son: el arrastre de polvo por el viento, la actividad volcánica y los incendios forestales.

Mientras que los principales procesos antropogénicos que introducen material particulado de forma directa a la atmósfera son: las quemadas agrícolas (chaqueos), los procesos de combustión de combustibles fósiles en fuentes fijas o móviles, los procesos industriales y la eliminación de residuos sólidos.

La variación del tamaño de las partículas hace que el comportamiento y el origen de las mismas sea diferente en la atmósfera, variando además el efecto sobre los organismos vivos y los ecosistemas.

En la siguiente tabla se puede apreciar una clasificación de las partículas en base a su tamaño y el origen de las mismas.

CLASIFICACIÓN DE PARTÍCULAS DE ACUERDO AL TAMAÑO

TAMAÑO	DENOMINACIÓN	ORIGEN
10-100 μ m	Polvo o materia sedimentable Están comprendidas las partículas agrobiológicas	Procesos mecánicos como la erosión, el molido y la dispersión producida por el viento, quema de basura, además de la combustión industrial y de lubricantes.
10-30 μ m	Material particulado total en suspensión (PTS)	
Menores a 10 μ m	PM ₁₀	Suelos locales, fábricas y productos de la combustión de las industrias.
Menores a 2.5 μ m	PM _{2.5}	Productos de la combustión de industrias y lubricantes fósiles.
0.1 - 1 μ m		Productos de combustión de productos fósiles y aerosoles fotoquímicos.
Menor a 0.1 μ m		Productos de la combustión de lubricantes fósiles.

El material particulado total en suspensión (PTS), se refiere a todas las partículas sólidas y líquidas dispersas en el aire, en forma casi estable y homogénea, que permanecen por algún tiempo suspendidas en la atmósfera sin importar su velocidad de deposición. Comprende las partículas que tienen un diámetro inferior a los 30 μm .

Las partículas o gotículas con un diámetro superior a 10 μm , tienden a permanecer en suspensión en el aire durante cortos periodos de tiempo, por lo que se las denomina "material particulado sedimentable" y su permanencia en el aire depende de los patrones meteorológicos, el tamaño y la granulometría que presenta.

Los aerosoles entre 1 y 10 μm de diámetro (PM10) forman suspensiones mecánicas estables, que sedimentan a una velocidad tan lenta que pueden ser fácilmente inhaladas por el hombre, siendo además las principales causantes de la disminución de la visibilidad.

Las partículas menores a 2,5 μm (PM2,5) tienen mayor penetración en el sistema respiratorio y por lo tanto son las más dañinas para la salud.

Las partículas de diámetro entre 0,1 y 1 μm presentan un comportamiento similar a las PM10, en cambio, las partículas menores a 0,1 μm de diámetro tienen un comportamiento molecular.

La composición química de las partículas varía mucho dependiendo del origen de las mismas, por ejemplo, las partículas de polvo y suelo contienen principalmente compuestos de calcio, aluminio y silicio, en tanto que el humo procedente de la combustión de carbón, madera, petróleo y basura presenta un alto contenido de compuestos orgánicos, al igual que los insecticidas y algunos productos provenientes de la fabricación de alimentos y sustancias químicas.

Metales pesados

Los metales pesados son elementos químicos, que generalmente se

hallan presentes a muy bajas concentraciones en la atmósfera. Su concentración se ha incrementado en los últimos años, debido a la alta emisión antropogénica, generada en la actividad industrial y por el incremento del tráfico vehicular.

Según la EPA (Environmental Protection Agency), los metales pesados más importantes que se encuentran en la atmósfera son: el plomo, el cadmio, el mercurio y el arsénico por su capacidad bioacumulable en el organismo humano.

Plomo (Pb)

Es el metal pesado contaminante más generalizado en la atmósfera y proviene en un 90% del tráfico vehicular, debido a la descomposición del tetraetilo de plomo que se encuentra como antidetonante en la gasolina y en un 10% proviene de la actividad industrial, especialmente de las fundidoras.

Es un elemento extremadamente tóxico para la salud humana y en general para las plantas y animales, pues tiene la peculiaridad, al igual que los otros metales pesados, que no se degradan ni química ni biológicamente, esto significa, que una vez que entra a un organismo (animal, vegetal o humano) no se elimina, acumulándose hasta llegar a niveles nocivos.

Esta característica es riesgosa para aquellos seres que se encuentran en los eslabones superiores de la cadena alimenticia (el ser humano entre otros), pues al ingerir vegetales u otros animales como alimento, ingieren el plomo contenido en el tejido de estos.

Cadmio (Cd)

Proviene principalmente de la producción de metales no ferrosos, del acero y del hierro, además de la quema de los combustibles fósiles.

Arsénico (Ar)

Tiene como principales fuentes de emisión a los pesticidas, las fundidoras no férricas, la industria de vidrio y de pintura para relojes, la quema de carbón y las plantas geotérmicas.

Cromo (Cr)

Se emite en la producción del acero inoxidable, en la industria de la galvanización, en las curtiembres y como anticorrosivo en la industria de los antilubricantes.

Mercurio (Hg)

Es un metal líquido, su fuente de emisión es la industria química, generalmente es utilizado en las curtiembres y en procesos para aislar el oro de otros sedimentos.

DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN LA ATMÓSFERA

Los contaminantes, desde el momento en que son emitidos a la atmósfera, se encuentran sometidos a procesos de difusión y transporte, que son el resultado de la interacción entre el contaminante y las diversas características de la atmósfera local.

Las condiciones meteorológicas son determinantes en la dispersión de los contaminantes en una región determinada. Las variables meteorológicas fundamentales que inciden en la contaminación atmosférica son la velocidad y dirección del viento y el gradiente vertical de temperatura de la atmósfera.

El viento produce un transporte horizontal convectivo que determina la trayectoria que siguen los contaminantes en el aire y su velocidad determina el tiempo de permanencia de los contaminantes en un lugar o región.

La dispersión vertical de los contaminantes, se encuentra íntimamente ligada al gradiente vertical de temperatura del aire, es decir,

a la tasa de variación de la temperatura del aire con respecto a la altitud.

En condiciones ideales, la temperatura del aire cambia con la altura de acuerdo a un gradiente vertical adiabático seco, el cual es fijo e independiente de la temperatura del aire ambiental. Tiene un valor de $9,8^{\circ}\text{C}$ por 1 km de elevación.

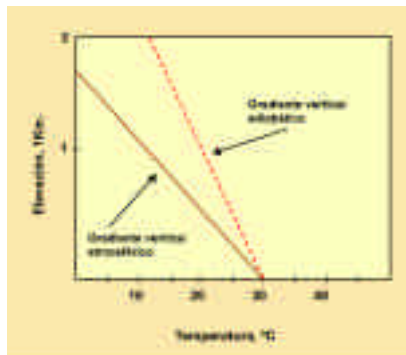
Sin embargo, en la realidad el gradiente vertical que prevalece es el llamado gradiente vertical del ambiente o atmosférico, que es el resultado de complejas interacciones entre la atmósfera y diversos factores meteorológicos.

Dependiendo del valor que adopte el gradiente vertical atmosférico, se pueden observar tres posibles situaciones:

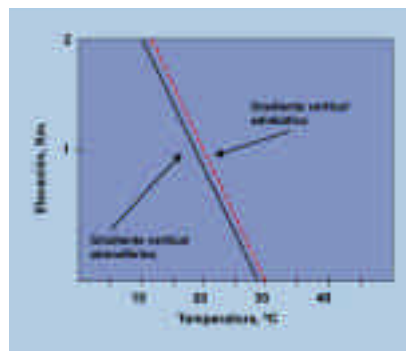
- **Atmósfera inestable**, ocurre cuando la temperatura disminuye más de $9,8^{\circ}\text{C}$ por cada kilómetro de altitud. En estas circunstancias la atmósfera se considera superadiabática y favorece la turbulencia y el movimiento vertical ascendente de los contaminantes, lo que produce una dilución de los mismos.
- **Atmósfera neutra**, en el caso de que el gradiente atmosférico sea igual al gradiente adiabático seco no existe ninguna limitación al movimiento vertical de los gases, pero tampoco dicho movimiento es favorecido. Los contaminantes atmosféricos bajo estas condiciones no serán dispersados o se dispersarán muy poco.
- **Atmósfera estable**, este comportamiento es también conocido como inversión térmica y se produce cuando el gradiente atmosférico es menor al gradiente adiabático seco. Se conoce como gradiente subadiabático de temperatura. En estas condiciones, la capa inferior de aire no puede ascender y los contaminantes quedan estancados a bajas altitudes.

De un modo general, el clima ejerce un rol fundamental en la dispersión, permanencia e inmisión de los contaminantes presentes en la atmósfera y estos a su vez juegan un papel determinante en la variación del clima en las ciudades.

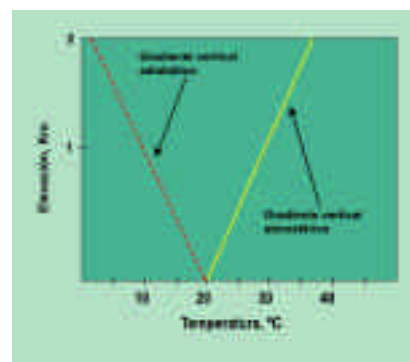
ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA



Atmósfera inestable (super adiabática)



Atmósfera neutra (adiabática)



Atmósfera estable (sub adiabática)

EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Los materiales formados de partículas y gases que se adicionan a la atmósfera mediante las actividades del hombre, se consideran contaminantes cuando sus concentraciones son suficientes para producir efectos nocivos.

Por lo tanto, la contaminación del aire puede producir efectos sobre la salud, los animales, el medio ambiente y los materiales.

Daños a la salud

La exposición a contaminantes del aire puede causar efectos agudos (corto plazo) y crónicos (largo plazo) en la salud. Generalmente, los efectos agudos son inmediatos y reversibles cuando cesa la exposición al contaminante.

Los efectos agudos más comunes son la irritación de los ojos, dolor de cabeza y náuseas. Los efectos crónicos tardan en manifestarse, duran indefinidamente y tienden a ser irreversibles como la disminución de la capacidad pulmonar y el cáncer a los pulmones, debido al prolongado período de exposición de contaminantes tóxicos en el aire, tales como el asbesto y berilio. Los contaminantes pueden afectar a la piel, ojos y otros sistemas del cuerpo, pero el principal perjudicado es el sistema respiratorio.

Las partículas solas o en combinación con otros contaminantes, representan un peligro muy grave para la salud, los efectos de las partículas son variables y dependen de la concentración, de la composición, forma y tamaño, tiempo de exposición, así como la sensibilidad de los receptores.

Los contaminantes del aire, tanto gaseosos como particulados, pueden tener efectos negativos sobre los pulmones. Las partículas se introducen hasta las paredes de la tráquea, bronquios y bronquiolos. La mayoría de estas partículas se eliminan de los pulmones mediante la acción de limpieza (barrido) de los cilios, pequeños filamentos de las paredes de los pulmones. Esto ocurre cuando se tose o estornuda.

Una tos o estornudo transporta las partículas a la boca. Las partículas se eliminan cuando son ingeridas o expulsadas del cuerpo. Sin embargo, las partículas sumamente pequeñas pueden alcanzar los alveolos, donde a menudo toma semanas, meses e incluso años para que el cuerpo las elimine.

Los contaminantes gaseosos del aire también pueden afectar la función de los pulmones mediante la reducción de la acción de los cilios. La respiración continua de aire contaminado disminuye la función de limpieza normal de los pulmones, lo que puede ocasionar que gran número de partículas lleguen a las partes inferiores del pulmón.

Los pulmones son los órganos responsables de absorber el oxígeno del aire y remover el dióxido de carbono del torrente sanguíneo. El daño causado a los pulmones por la contaminación del aire puede imposibilitar este proceso y contribuir a la aparición de enfermedades respiratorias como la bronquitis, enfisema y el cáncer. También puede afectar al corazón y al sistema circulatorio.

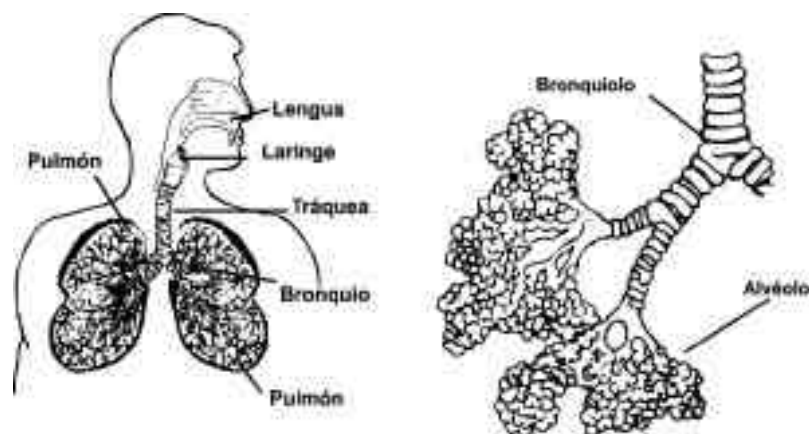
El bióxido de azufre (SO_2) es el contaminante gaseoso más nocivo para el hombre, daña los pulmones y parte del sistema respiratorio, es un potente irritador de ojos y piel causando asma, catarros crónicos, enfisema, fatiga y cansancio crónico, estos daños son permanentes e irreparables.

El monóxido de carbono (CO) disminuye la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, provocando una sobrecarga en la función bombeadora del corazón, así como un esfuerzo adicional en la función respiratoria, ya que los pulmones deben suministrar a la sangre una mayor cantidad de oxígeno.

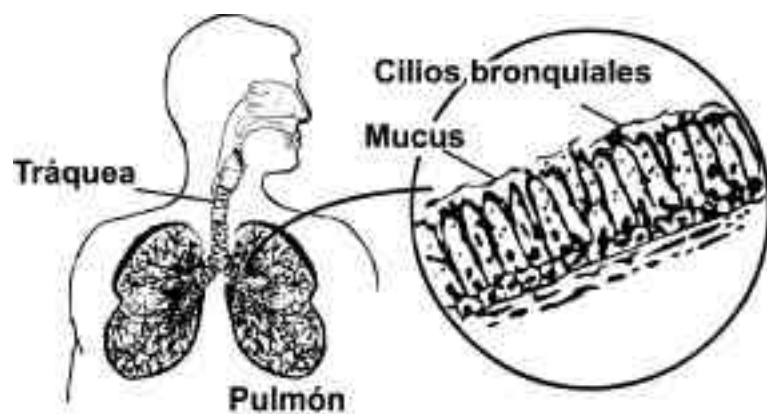
Los hidrocarburos y óxidos de nitrógeno (NO_x), son nocivos para los pulmones, causan irritación de los ojos cuando la contaminación atmosférica sobrepasa los niveles habituales.

El ozono (O_3) impide que la radiación ultravioleta llegue a la tierra, lo cual es muy importante, si tomamos en cuenta que dicha radia-

ción provoca en el hombre enfermedades de piel. Cuando el ozono se encuentra en las capas inferiores de la atmósfera, aún en concentraciones relativamente bajas, provoca irritaciones en los ojos, causa tos y dolor de pecho dificultando la respiración.



Las partículas se introducen hasta las paredes de la tráquea, bronquios y bronquiolos



Resulta difícil para los pulmones remover las partículas sumamente pequeñas

Daños a la vegetación y a los animales

Los daños a la vegetación se producen como consecuencia del contacto directo de los agentes contaminantes en suspensión en el aire, o del depósito de productos químicos indeseables en las plantas y de su absorción por las mismas.

Existen algunos contaminantes que causan daños a determinados cultivos entre los principales daños podemos citar: las alteraciones foliares, la reducción del crecimiento de las plantas, la obtención de productos pequeños y la destrucción de las flores.

Los daños a las plantas causados por la contaminación del aire, ocurren por lo general en la estructura de la hoja, ya que ésta contiene los mecanismos de construcción de toda la planta.

Los efectos de la contaminación por partículas sobre la vegetación son mínimos, porque generalmente se depositan sobre la superficie dura y cerosa de las hojas, donde se disuelven con la ayuda de la humedad para poder ingresar a través de los estomas, produciendo un daño localizado.

A su vez, el polvo depositado sobre la superficie de las hojas puede ser consumido por los animales y dependiendo su composición puede producir daños severos sobre el ganado. Se conoce que el alto contenido de óxidos de arsénico y cadmio en el polvo pueden matar al ganado ovino (Sanz sa 1991).

Daños a los bienes materiales

Las construcciones, estructuras metálicas, pinturas de los edificios y otros materiales de construcción son seriamente dañados por los agentes contaminadores del aire.

La destrucción de los distintos materiales depende de los diversos tipos de contaminantes, entre los agresivos están las nieblas ácidas, las sustancias oxidantes, al ácido sulfídrico y los productos residuales de la combustión. Estos contaminantes también producen daños a las telas y objetos domésticos, la ropa de vestir, etc.



Daños severos causados en la fauna por la contaminación del aire

Centro de Ecología Simón I. Patiño



Daños en los edificios causados por los agentes contaminadores del aire

Vladimir Morató

EFFECTOS GLOBALES DE LA CONTAMINACIÓN

El hombre y otros seres vivos pueden producir cambios importantes, locales y globales en la tierra. Hasta donde se sabe, todo el oxígeno libre que existe en la atmósfera fue puesto allí por las plantas, así como por los combustibles fósiles (carbón mineral, petróleo, gas natural) del mundo fueron producidos por los seres vivos.

Existen tres grandes problemas relacionados con las emisiones contaminantes del aire, en los que el hombre puede producir cambios a gran escala en nuestro planeta, entre los que podemos citar: la acumulación del dióxido de carbono en la atmósfera (efecto invernadero), la disminución del ozono en la estratosfera y la acumulación de sulfatos y acidez creciente asociada en la biosfera (lluvia ácida).

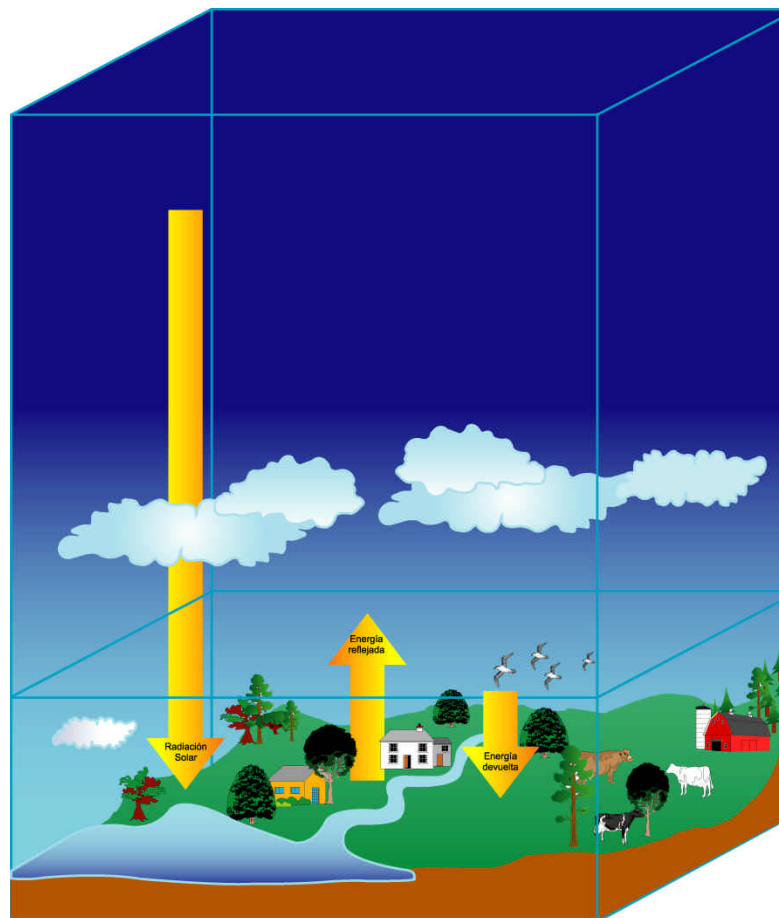
Efecto invernadero

Se denomina efecto invernadero, al incremento de la temperatura en las capas inferiores de la atmósfera, ocasionado por el aumento del bióxido de carbono, que junto con el vapor de agua absorbe el calor radiado más eficientemente de lo que absorbe la radiación solar incidente de longitudes de onda corta.

El dióxido de carbono y otros gases de la atmósfera, actúan como el cristal de un invernadero, dejando pasar los rayos del sol pero atrapando parte del calor, que en otro caso sería irradiado de vuelta al espacio. Los niveles naturales de dióxido de carbono hacen posible la vida, sin él la temperatura media del planeta sería de 30° C menos.

Los gases de invernadero artificiales que motivan el recalentamiento del planeta, provienen de casi todas las actividades humanas (centrales eléctricas, industria energética, uso de automotores, aviones y trenes).

Como es de conocimiento general, estos gases de invernadero son producidos por muchos países, por lo tanto, los acuerdos que se tomen con respecto a producir menos cantidad de ellos, tendrán que tener un alcance internacional, lo que significará crear una estrategia de cooperación de todos los países.



Lluvia ácida

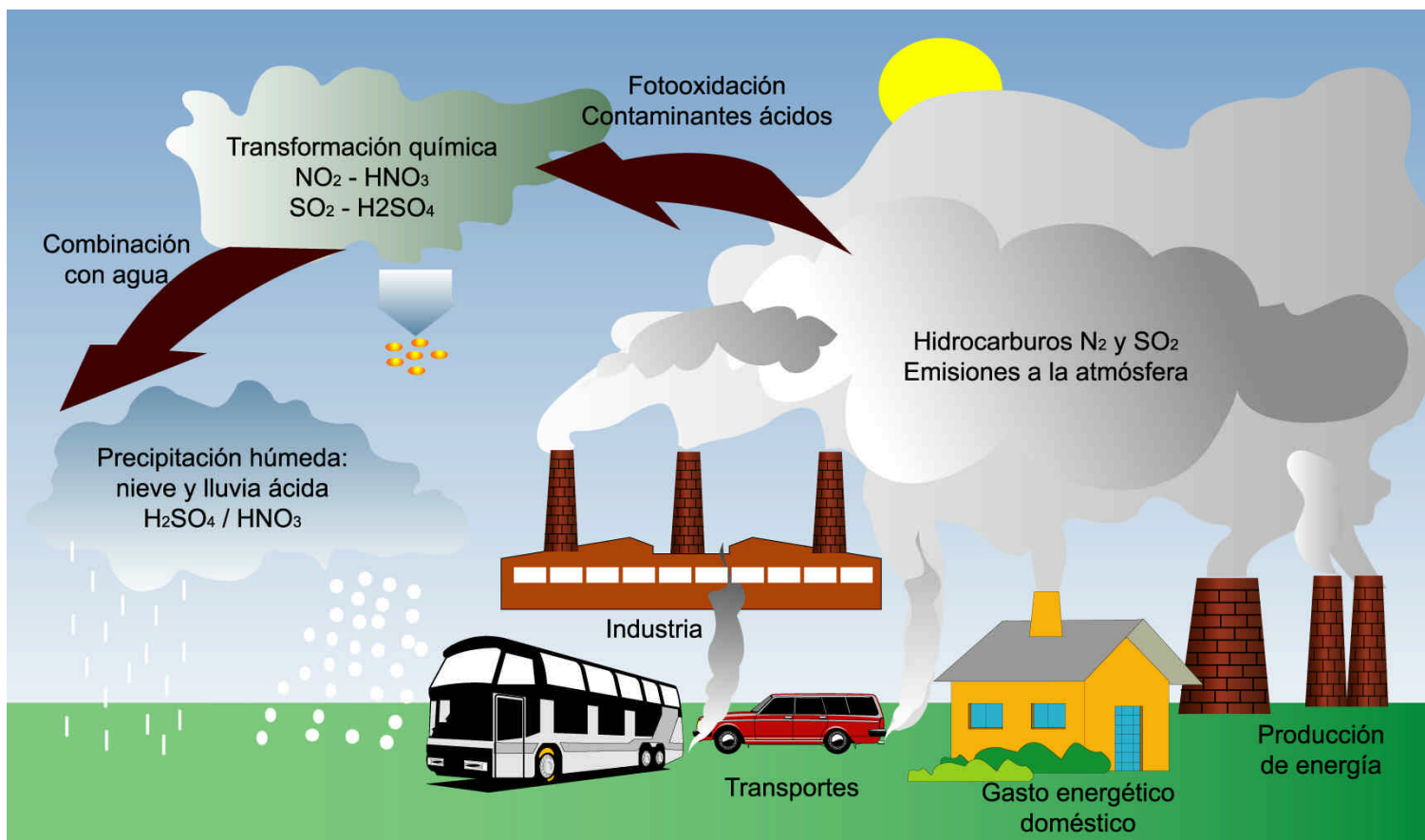
La lluvia ácida es producida por los siguientes gases: el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno, dióxido nitroso y óxido nítrico.

La mayoría de estos gases acidificantes provienen de la combustión de combustibles fósiles, como el carbón. Algunos ingresan en el aire como resultado de procesos naturales del mar, que tienen que ver con la fotosíntesis de las algas del fitoplancton. Cuando estos gases suben al aire, se combinan con gotas de agua en la nubes y forman agua con características ácidas.

El dióxido de azufre forma el ácido sulfúrico, mientras que los óxidos de nitrógeno, producen ácido nítrico. Otros gases como el amoníaco, pueden precipitar el cambio de gas a agua acidificada.

Cuando llueve, nieva o graniza los ácidos llegan a la tierra, contaminando el suelo, el agua de los ríos y lagos, la vida silvestre, los edificios y las maquinarias.

La lluvia ácida es uno de los trastornos climáticos más graves provocados por el hombre, que está causando la destrucción de millones de hectáreas de bosques, la extinción de la flora y la fauna de los ríos y lagos.



La capa de ozono

El ozono en la estratosfera absorbe cierto tipo de radiación ultravioleta, que de llegar a la superficie causaría daños a los seres vivos. Al disminuir la cantidad de ozono estratosférico aumenta la cantidad de rayos ultravioleta (UV) que llega a la superficie.

El ciclo natural de formación del ozono atmosférico, se ve afectado también por la acción humana, a causa de la emisión a la atmósfera de determinados tipos de productos como óxidos de nitrógeno que originan los aviones que vuelan a gran altura y los clorofluorometános (CFM), que se utilizan como propulsores en neveras e instalaciones de aire acondicionado.



El ozono puede causar daños graves cuando se encuentra a nivel de la superficie terrestre

LEGISLACIÓN AMBIENTAL SOBRE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

El desarrollo de un reglamento ambiental requiere de mucho tiempo e inversión. Un método para reducir el tiempo e inversión es la negociación de los reglamentos. Bajo este enfoque, las instancias responsables se reúnen con la finalidad de tratar las opciones reglamentarias para determinar los indicadores de la contaminación del aire.

Es así que la reglamentación sobre la contaminación atmosférica de Bolivia, ha basado sus normas y reglamentos en experiencia de otros países.

Objetivo de la legislación

Protección y conservación del medio ambiente y el control de la contaminación del aire, con el fin de mejorar la salud y el bienestar de los habitantes.

¿Porqué se necesitan normas?

Por la necesidad de establecer metas sobre el control de la calidad del aire para que los programas tengan fuerza legal.

Normas para la calidad del aire

Son los límites máximos permisibles de concentración de contaminantes del aire, definidos con el propósito de proteger la salud y/o el ambiente, considerando las posibilidades técnicas, económicas y sociales.

Etapas en la fijación de normas

Las normas se fijan de acuerdo a:

- Etapa científica
- Evaluación del riesgo
- Etapa político - administrativa
- Determinación del riesgo aceptable.

Los primeros documentos promulgados a fines del siglo IX y a principios del XX para controlar la contaminación del aire, fueron ordenanzas orientadas al control de las emisiones de humo en Inglaterra y Estados Unidos. Episodios críticos registrados en el valle de Meuse, Bélgica, 1930; Donora, Pennsylvania, 1948 y en Londres, Inglaterra, en 1952 marcaron definitivamente la afectación del aire contaminado no solo al bienestar sino también a la salud pública.

Legislación en los Estados Unidos

A nivel federal en Estados Unidos se promulgó la ley para el control de la contaminación del aire (1955), que permitió establecer programas de investigación para conocer los efectos relacionados a la salud y el bienestar, así como, proveer de asistencia técnica a los gobiernos estatales. Posteriormente se implementaron leyes complementarias (ley del aire limpio).

Legislación en Latinoamérica

Los esfuerzos de los países latinoamericanos para controlar la contaminación del aire surgen como respuesta para remediar aspectos relevantes de la época.

En Chile a partir de 1916 se elaboraron leyes y reglamentos específicos hasta llegar a un Plan de Prevención y Descontaminación para el Área Metropolitana de Santiago. El gobierno central es el responsable de la coordinación de las actividades a través de comisiones nacionales y regionales.

En México hasta 1986, el control de la contaminación atmosférica se realizaba operando una red de monitoreo del aire manual con la medición de: dióxido de azufre (SO₂), material particulado y plomo. A la fecha cuenta con 32 estaciones automáticas y 12 estaciones

manuales en operación y mide todos los contaminantes criterio. Las actividades las organiza la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM) a través de programas de monitoreo atmosférico.

En el Brasil opera la Compañía de Tecnología y Saneamiento Ambiental (CETESB) que es la agencia ambiental paulista responsable por el desarrollo de acciones de control, licencias, fiscalización y monitoreo de las actividades potencialmente contaminadoras, protección y recuperación de la calidad del aire, aguas y suelo.

Legislación en Bolivia

El 27 de abril de 1992, se promulgó la Ley del Medio Ambiente N° 1333, la cual se constituye en el marco general para las actividades ambientales en Bolivia, posteriormente se emite la Reglamentación de la Ley del Medio Ambiente, aprobada mediante D.S. N° 24176 del 8 de diciembre de 1995, que contempla los siguientes Reglamentos:

- Gestión ambiental
- Prevención y control ambiental
- Materia de contaminación atmosférica
- Materia de contaminación hídrica
- Sustancias peligrosas
- Gestión de residuos sólidos.

Normas de la OMS

Contemplan los contaminantes criterio que son los más comunes y perjudiciales, que generalmente se miden en las redes de monitoreo (monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono, plomo, material particulado, (partículas suspendidas totales y partículas menores a 10 micras) y radiación ultravioleta.

LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD DEL AIRE

Reglamentación en materia de contaminación atmosférica

CONTAMINANTE	VALOR DE CONCENTRACIÓN	PERÍODO DE CARACTERIZACIÓN ESTADÍSTICA
MONÓXIDO DE CARBONO	10mg/m ³	media en 8 h media en 1h
BIÓXIDO DE AZUFRE	80 µg/m ³ 365 µg/m ³	media aritmética anual media en 24 h
BIÓXIDO DE NITRÓGENO	150 µg/m ³ 400 µg/m ³	media en 24 h promedio en 1 h
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST)	260 µg/m ³ 75 µg/m ³	24 h media geométrica anual
PARTICULAS MENORES DE 10 MICRAS (PM - 10)	150 µg/m ³ 50 µg/m ³	24 h media geométrica anual
OZONO	236 µg/m ³	promedio horario máximo
PLOMO	1.5 µg/m ³	media aritmética trimestral

Fuente: Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, La Paz - Bolivia, 1995

Los valores de concentración se refieren a concentraciones normales de presión y temperatura, considerándose una presión de 1 atmósfera (760 mm Hg) y una temperatura de 298 K (25°C).

NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE DE VARIOS PAISES DE AMÉRICA LATINA Y GUIAS DE LA OMS (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Periodo de muestreo	Argentina	Bolivia	Brasil	Colombia	Chile	Estados Unidos	México	Venezuela	Guías de la OMS ²
Ozono	1 hora	195	235	160 ³			235	216 ⁴		
	8 horas						160 ⁵			120
SO ₂	24 horas		365	365	400	365	365	341 ³	80 - 365 ⁶	125
	mensual	70 ⁷								
	Anual ⁸		80	80	100	80	80	79		50
NO ₂	1 hora	846 ⁹	400	320 ³		470		395 ³		200
	24 horas		150						100 - 300 ¹⁰	
	Anual ⁸			100	100	100	100			40
CO	1 hora	57.000	30.000	40.000 ³	50.000	40.000 ³	40.000			30.000
	8 horas	11.000	10.000	10.000	15.000	10.000	10.000	13.000 ³	10.000 - 40.000 ¹⁰	10.000
PTS	24 horas		260	240 ³	400	260		260 ³	75 - 260 ⁶	- 11
	Mensual	150								- 11
	Anual ¹¹		75	80	77	75		75		- 11
PM ₁₀	24 horas			150		150	150 ¹³	150		- 11
	Anual ⁸			50			50 ¹⁴	50		- 11
Plomo	24 horas								1,5 - 2,0 ¹⁰	
	3 meses		1,5				1,5	1,5		
	Anual									0,5

1. Normas propuestas

2. Guías globales propuestas

3. No debe ser excedida más de una vez al año

4. No debe ser excedida más de una vez cada 3 años

5. El cuarto valor más alto no debe ser excedido más de una vez cada 3 años

6. El valor bajo se puede exceder en 50% de las mediciones y el alto en el 0.5%

7. Promedio aritmético mensual

8. Promedio aritmético anual

9. La norma Argentina corresponde al NOx (expresado como NO₂)

10. El valor bajo se puede exceder en 50% de las mediciones y el alto en 5%

11. No se ha establecido ningún valor de referencia para PTS y PM10 porque no existe una referencia evidente en cuanto a sus efectos en la salud

12. Promedio geométrico anual

13. Estados Unidos también tiene una norma para PM2,5 de 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

14. Estados Unidos también tiene una norma para PM2,5 de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

MONITOREO

El monitoreo es un sistema usado por los organismos reguladores para determinar si se está cumpliendo con las leyes y reglamentos ambientales.

La mayoría de los reglamentos de contaminación del aire requiere que las instancias responsables realicen su propio monitoreo para verificar el cumplimiento de las normas.

¿QUÉ ES EL MONITOREO ATMOSFÉRICO?

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

El monitoreo constituye la base sobre la que se fundamenta cualquier gestión de manejo de la calidad del aire, ya que a partir de la información obtenida se trazará el rumbo que debe seguir la política ambiental de prevención de la contaminación atmosférica. El objetivo del monitoreo radica principalmente en:

- Determinar los parámetros y los criterios legales
- Estimar los efectos causados en la población y en el ambiente
- Proporcionar información de las fuentes y riesgos de la contaminación
- Efectuar evaluaciones a largo plazo
- Medir los efectos de control en la calidad del aire
- Estudiar las reacciones químicas de los contaminantes en la atmósfera
- Aplicar y evaluar modelos de dispersión de contaminantes en la atmósfera
- Informar al público acerca de la calidad del aire.

DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS

AMBIENTALES

La medición de las emisiones a la atmósfera, permite establecer medidas reguladoras sobre la calidad del aire y particularmente sirve para establecer parámetros y valores límite permisibles, que no representen riesgo a la salud de la población y efectos adversos al medio ambiente.

Se han identificado en la atmósfera más de 100 contaminantes, entre los que se incluyen en la fracción inorgánica más de 20 elementos metálicos y en la orgánica un gran número de hidrocarburos, ácidos y bases.

Sin embargo, se consideran como indicadores de la contaminación atmosférica sólo a los más abundantes, para los cuales se han establecido normas de calidad. Los principales contaminantes son: bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono, monóxido de carbono, hidrocarburos y partículas suspendidas, entre otros contaminantes se tiene compuestos orgánicos volátiles (depósitos de polvo) y compuestos de material particulado como: plomo, cadmio, arsénico, níquel, benzopirenos y hollín.

Otros parámetros ambientales que se deben medir son los parámetros meteorológicos y topográficos como la velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa, precipitación, radiación solar, y altitud, ya que estos influyen directamente en la dispersión de los contaminantes atmosféricos.

DEFINICIÓN DEL NÚMERO Y SITIOS DE MUESTREO

Una vez se definan los objetivos del monitoreo, se delimitarán las localidades o áreas de estudio y los parámetros que se necesitan monitorear, para lo cual, se seleccionarán los puntos de monitoreo de un lugar determinado, con la finalidad de compararlos con estándares de calidad del aire, valores límites, normas, etc.

Los sitios de muestreo se eligen considerando:

- La naturaleza de las fuentes contaminantes (industrias, viales y otros)
- Localización de las fuentes en relación a las zonas habitables (residenciales, de descanso, etc)
- Existencia de zonas hospitalarias.
- Cantidad de habitantes en un asentamiento
- Características naturales, favorables y desfavorables a la dispersión de los contaminantes.

LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO

El monitoreo se lleva a cabo en sitios seleccionados, en base a la experiencia y a la información con que se cuenta, antes que con la aplicación de cualquier otro método.

Para elegir estas localizaciones se deberán tomar en cuenta una variedad de consideraciones como :

Tipos y fuentes de emisión

Uno de los primeros pasos en la selección de un sitio estratégico de muestreo, es la recopilación de los datos y de las fuentes de emisión, por medio de un inventario de emisiones, que darán una pauta de las zonas críticas que se pudieran tener en el área.

En caso de no contar con un inventario de emisiones, pueden ser útiles las estadísticas de distribución de población y de uso vehicular.

Factores topográficos y meteorológicos

Estos factores junto con los datos de las emisiones y con los modelos de dispersión, pueden utilizarse para tener una estimación inicial de las concentraciones de contaminantes e identificar posibles zonas críticas.

Información de la calidad del aire

El monitoreo atmosférico ya se realiza en muchas ciudades grandes, lo cual nos proporciona una base de datos, con la que podemos comparar y relacionar. En caso de no contar con una base de datos, se recomienda un estudio puntual del área para identificar los problemas de contaminación.

Modelos de simulación

Los resultados de los modelos de simulación, pueden ser usados para predecir los patrones de depósitos o dispersión de los contaminantes, así como también las reacciones atmosféricas probables, lo cual nos ayudará en la selección de los sitios de muestreo.

DETERMINACIÓN DE TIEMPOS DE MUESTREO

La determinación de tiempos de muestreo, dependerá del tipo de programa que se pretenda llevar a cabo, previamente se definirá la duración del mismo, sea este de muestreo continuo o discontinuo. Para programas discontinuos, se determinará la frecuencia y el tiempo de toma de muestras, en función de los objetivos del monitoreo y de la calidad de los datos que se requiera.

Se define como duración de muestreo, al periodo de tiempo de evaluación en que se realizarán las mediciones, para estas evaluaciones se tomará en cuenta los 12 meses del año y la influencia del cambio de estaciones.

El término frecuencia de muestreo (para programas discontinuos), indica el número de muestras que se tomarán en un intervalo de tiempo y en una zona determinada. Este factor es importante, puesto que los valores de calidad del aire dependen en gran parte de las variaciones temporales (condiciones climáticas y cambios estacionales).

TÉCNICAS PARA MONITOREO ATMOSFÉRICO

Las técnicas para el muestreo del monitoreo atmosférico pueden ser divididas en cinco tipos genéricos: muestreadores pasivos, activos, analizadores automáticos en línea, sensores remotos y bioindicadores

Muestreadores pasivos

Estos dispositivos de toma de muestra, generalmente se componen de tubos o discos, que colecta un contaminante específico, por medio de su adsorción y absorción de un sustrato químico seleccionado. En general solo proveen promedios semanales y mensuales que requieren de análisis de laboratorio.

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

Muestreadores activos

A diferencia de los 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 son más caros y complejos que los pasivos, son relativamente fáciles de operar, confiables y han proporcionado la base de datos de mediciones de muchos países del mundo.

Analizadores o monitores automáticos

A pesar de las ventajas económicas de los muestreadores activos o pasivos, existen aplicaciones de monitoreo que necesitan de rápida respuesta (a tiempo real), que proporcionan un analizador automático. Por ejemplo cuando se pretenden detectar valores máximos de



Muestreadores pasivos



Muestreadores automáticos

concentraciones de contaminantes y situaciones de alerta para implementar medida de contingencia. Estos instrumentos se basan en propiedades físicas o químicas del gas que va a ser detectado continuamente, utilizando métodos optoelectrónicos.

Sensores remotos

Los sensores remotos a diferencias 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 (mayor a 100 m).

Las aplicaciones de los sensores remotos son muy especializadas y particularmente se utilizan para investigaciones cerca de las fuentes de emisión, en las plumas de las chimeneas y para mediciones verticales de contaminantes gaseosos y aerosoles en la atmósfera, así como en la investigación de la distribución del ozono en la troposfera y en la estratosfera.

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 (proporcionan datos cualitativos no cuantifican).

El término biomonitoreo, implica generalmente el uso de plantas para monitorear el aire.

INSTRUMENTACIÓN Y TÉCNICAS DE MONITOREO ATMOSFÉRICO

TÉCNICA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
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.
Muestreadores Activos	Bajo costo. Fáciles de operar Confiables en: operación y funcionamiento. Historia de bases de datos.	Proporciona concentraciones pico o de alerta.
Monitoreos Automáticos	Alto funcionamiento comprobado. Datos horarios. Información on line y bajos costos directos.	Complejo y caro. Requieren técnicos calificados. Altos costos periódicos de operación.
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.
Bioindicadores	Baratos. Útiles para identificar la presencia de algunos contaminantes.	Problemas en la estandarización de sus metodologías y otros procedimientos. Algunos requieren análisis de laboratorio.

Fuente: ECO/OPS Manual de monitoreo atmosférico, 1997

¿CÓMO PODEMOS COLABORAR?

Según la OMS en algunas ciudades del mundo aún no existen controles sobre la contaminación del aire ni estudios epidemiológicos sobre los posibles daños, con el consiguiente riesgo para la salud de la población y el medio ambiente.

La lista que presentamos a continuación es una guía útil de todo lo que se puede hacer para ahorrar energía.

GOBIERNOS



- Financiar campañas de educación ambiental en los diferentes niveles y/o instancias
- Promover acciones para el cumplimiento de la reglamentación en materia de la contaminación atmosférica
- Destinar fondos para la investigación del recurso aire
- Proveer centros de reciclaje
- Prohibir el uso de CFCs en aerosoles, aislantes y embalajes.

TRANSPORTE



- Usar transporte público cada vez que sea posible
- Compartir el auto para ir a la oficina, colegio, etc.
- Elegir vehículos no contaminantes
- Recorrer a pie o en bicicleta cuando las distancias son cortas.

PAPEL - ARBOLES



- Comprar artículos reciclados
- Evitar el uso de productos con envases descartables (embalajes plásticos)
- Plantar árboles
- Evitar la tala y la quema de los bosques.

PODER DEL CONSUMIDOR



- Comprar artículos nacionales
- Comprar aerosoles libres de CFCs.

NO FUMAR



- El fumar es dañino para la salud personal y pública.

NEGOCIOS



- Cambiar la flota de vehículos por otros que usen gas natural
- Es recomendable en las industrias la substitución de combustibles por gas natural.

ALIMENTOS



- Producir y comprar alimentos orgánicos que no hayan sido tratados con pesticidas ni fertilizantes

GLOSARIO

Acidificación:	Adición de hidrogeniones a una disolución, en cantidad suficiente para que su pH resulte inferior a 7.	Inmisión:	Materiales sólidos, líquidos o gaseosos que junto con el aire se reciben en un lugar determinado en la superficie del suelo o en su proximidad.
Adiabático:	Proceso reversible que se desarrolla sin intercambio de calor con el exterior.	Muestrear:	Toma de muestras o de elementos de un elemento, o de un conjunto de elementos para realizar estudios y/o análisis sobre ellos.
Aglomeración:	Técnica utilizada para convertir pequeñas partículas sólidas en otras de mayor tamaño, ya sea entremezclándolas en una atmósfera húmeda por aplicación de presión y calor, o por la combinación de ambos métodos.	Óxidos:	Cada uno de los compuestos formado por el oxígeno con otro elemento.
Bioacumulación:	Acumulación o depósito de una sustancia por un organismo vivo. El fenómeno tiende a darse con mayor intensidad, según se asciende de nivel en una cadena trófica.	Radiación ultravioleta:	Radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida entre 1 y 380 nm.
Convecto:	Movimiento vertical del aire durante su enfriamiento.	Refinación:	Proceso de separación de sustancias en varios tipos de mezclas para dar productos concentrados y purificados.
Fósil:	Condición de una sustancia o estructura orgánica o inorgánica que se ha conservado en un transcurso del tiempo.		
Fotoquímica:	Estudio de las reacciones originadas por la radiación, principalmente visible y ultravioleta así como de la producción de radiación por transformaciones químicas.		
Fotosíntesis:	Asimilación clorofílica o conjunto de fenómenos fisiológicos que permiten a los vegetales, producir moléculas orgánicas glucídicas a partir del anhídrido carbónico de la atmósfera y del agua en presencia de luz.		

BIBLIOGRAFÍA

- Achá, Martha. 1994. Contaminación Atmosférica por material particulado en la provincia Cercado del Departamento de Cochabamba. Tesina para obtener el diploma académico Técnico Superior en Química. Cochabamba, Bolivia.
- ECO/OPS 1997. Manual de monitoreo atmosférico. México.
- Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. 1995. Reglamento de la Ley del Medio Ambiente en Bolivia. La Paz, Bolivia.
- Navarro, Gonzalo. 1999. Revista Boliviana de Ecología No. 14 El Clima. Centro de Ecología Simón I. Patiño. Cochabamba, Bolivia.
- Organización Panamericana de la Salud. 1999. Curso de Orientación para el control de la contaminación del aire. En Manual de auto - instrucción Lima, Perú.
- Sanz Sa, J. 1991. Contaminación Atmosférica. MOPT. Madrid, España.
- Stocker, H. & S. Seager. 1981. Química Ambiental. Editorial Blume. Barcelona, España.
- VDI. 1974. Medición de partículas en el aire externo. Cuadro sinóptico. En Manual VDI limpieza del aire y Manual VDI de polvos. Düsseldorf, Alemania.
- W. Strauss, S.J. Mainwaring. 1995. Contaminación del aire. México.



Contaminación atmosférica en la ciudad de Cochabamba