

Universidad Nacional de Cuyo - Facultad de Ingeniería

Estudio del Medio Ambiente

UNIDAD 3:

Factor ecológico Aire. Polución atmosférica
Tratamiento

Profesor Titular: Mst. Ing. José Alberto Flores

Profesora Adjunta: Dra. Ing. Irma Teresa Mercante

Profesora JTP: Ing. Julieta Chini

Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Cuyo

Contenido: Composición del aire. Atmósfera y biosfera. Meteorología. Concepto de contaminación atmosférica. Contaminantes más importantes de la atmósfera. Efectos y Fuentes de los contaminantes. Contaminantes primarios y secundarios. Conceptos de emisión - inmisión. Disminución del ozono estratosférico. Efecto invernadero. Precipitación ácida y sedimentación. Radiación ultravioleta. Óxidos de carbono, de azufre y de nitrógeno. Partículas y aerosoles. Ruido. Contaminación sonora. Procedencia de la contaminación atmosférica. Efectos de la contaminación ambiental. Efectos sobre la salud humana, sobre los animales, la vegetación y los materiales. Métodos de depuración de gases y de material particulado en corrientes gaseosas. Breve reseña de los procesos de depuración. Gráficos. Equipos de absorción, de adsorción y reacción química. Eliminación de óxidos de nitrógeno y de azufre. Separadores de partículas, distintos equipos, su funcionamiento y sus gráficos. Evacuación a la atmósfera. Dispersión de gases. Contaminación atmosférica urbana. Prevención. Legislación y tendencias en la reglamentación.

I. INTRODUCCIÓN

Los 10 kilómetros de espesor aproximado de la troposfera son una fina capa añadida a los algo más de 6.000 kilómetros de radio de la Tierra, sin embargo, en esa tenue parte de la atmósfera se concentra la mayor parte del aire y ahí suceden los fenómenos climáticos que tanta trascendencia tienen para la vida en nuestro planeta.

II. ATMÓSFERA Y VIDA

La vida depende de la atmósfera. El oxígeno, el dióxido de carbono, la humedad atmosférica, son imprescindibles para el desarrollo de los organismos. Pero sin olvidar que la atmósfera que conocemos en la Tierra ha sido, a su vez, construida en gran parte con la actividad de los seres vivos. Si no fuera por la fotosíntesis no habría oxígeno; el equilibrio actual de gases como el oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua dependen estrechamente de los seres vivos, de su respiración, de la fotosíntesis y de la transpiración.

Otro componente atmosférico de gran trascendencia es el ozono. No se encuentra en la troposfera sino en la estratosfera y es vital para detener las mortales radiaciones ultravioletas. Es muy probable que hasta que no hubieron pasado los años suficientes para que esta capa de ozono se formara, la vida en la superficie, fuera del agua, hubiera estado totalmente impedida por la llegada sin freno de las letales radiaciones.

1. Formación

La atmósfera es la envoltura gaseosa que rodea a la Tierra. Comenzó a formarse hace unos 4.600 millones de años con el nacimiento de la Tierra. La mayor parte de la atmósfera primitiva se perdería en el espacio, pero nuevos gases y vapor de agua se fueron liberando de las rocas que forman nuestro planeta.

La atmósfera de las primeras épocas de la historia de la Tierra estaría formada por vapor de agua, dióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno, junto a muy pequeñas cantidades de hidrógeno (H₂) y monóxido de carbono pero con ausencia de oxígeno.

Era una atmósfera ligeramente reductora hasta que la actividad fotosintética de los seres vivos introdujo oxígeno y ozono (a partir de hace unos 2.500 o 2.000 millones de años) y hace unos 1.000 millones de años la atmósfera llegó a tener una composición similar a la actual.

También ahora los seres vivos siguen desempeñando un papel fundamental en el funcionamiento de la atmósfera. Las plantas y otros organismos fotosintéticos toman CO₂ del aire y devuelven O₂, mientras que la respiración de los animales y la quema de bosques o combustibles realiza el efecto contrario: retira O₂ y devuelve CO₂ a la atmósfera.

2. Composición

Los gases fundamentales que forman la atmósfera se observan en la Tabla 1.

Tabla 1: Composición del aire

	% en volumen
Nitrógeno	78.804
Oxígeno	20.946
Argón	0.934
CO ₂	0.033

Otros gases de interés presentes en la atmósfera son el vapor de agua, el ozono y diferentes óxidos de nitrógeno, azufre, etc.

También hay partículas de polvo en suspensión como, por ejemplo, partículas inorgánicas, pequeños organismos o restos de ellos, NaCl del mar, etc. Muchas veces estas partículas pueden servir de núcleos de condensación en la formación de nieblas (smog o neblumo) muy contaminantes.

Los volcanes y la actividad humana son responsables de la emisión a la atmósfera de diferentes gases y partículas contaminantes que tienen una gran influencia en los cambios climáticos y en el funcionamiento de los ecosistemas, como veremos.

Los componentes de la atmósfera se encuentran concentrados cerca de la superficie, comprimidos por la atracción de la gravedad y, conforme aumenta la altura la densidad de la atmósfera disminuye con gran rapidez. En los 5,5 kilómetros más cercanos a la superficie se encuentra la mitad de la masa total y antes de los 15 kilómetros de altura está el 95% de toda la materia atmosférica.

La mezcla de gases que llamamos aire mantiene la proporción de sus distintos componentes casi invariable hasta los 80 km, aunque cada vez más enrarecido (menos denso) conforme vamos ascendiendo. A partir de los 80 km la composición se hace más variable.

3. Estructura de la atmósfera

Atendiendo a diferentes características la atmósfera se divide en (Ver Figura1):

Troposfera: abarca hasta un límite superior llamado tropopausa que se encuentra a los 9 Km en los polos y los 18 km en el ecuador. En ella se producen importantes movimientos verticales y horizontales de las masas de aire (vientos) y hay relativa abundancia de agua, por su cercanía a la hidrosfera. Por todo esto es la zona de las nubes y los fenómenos climáticos: lluvias, vientos, cambios de temperatura, etc.

Es la capa de más interés para la ecología. En la troposfera la temperatura va disminuyendo conforme se va subiendo, hasta llegar a -70°C en su límite superior.

Estratosfera: comienza a partir de la tropopausa y llega hasta un límite superior llamado estratopausa que se sitúa a los 50 kilómetros de altitud. En esta capa la temperatura cambia su tendencia y va aumentando hasta llegar a ser de alrededor de 0°C en la estratopausa. Casi no hay movimiento en dirección vertical del aire, pero los vientos horizontales llegan a alcanzar frecuentemente los 200 km/h, lo que facilita que cualquier sustancia que llega a la estratosfera se difunda por todo el globo con rapidez, que es lo que sucede con los CFC que destruyen el ozono.

En esta parte de la atmósfera, entre los 30 y los 50 kilómetros, se encuentra el ozono que tan importante papel cumple en la absorción de las dañinas radiaciones de onda corta.

Mesosfera, ionosfera y la **magnetosfera** se encuentran a partir de la estratopausa. En ellas el aire está tan enrarecido que la densidad es muy baja. Son los lugares en donde se producen las auroras boreales y en donde se reflejan las ondas de radio, pero su funcionamiento afecta muy poco a los seres vivos.

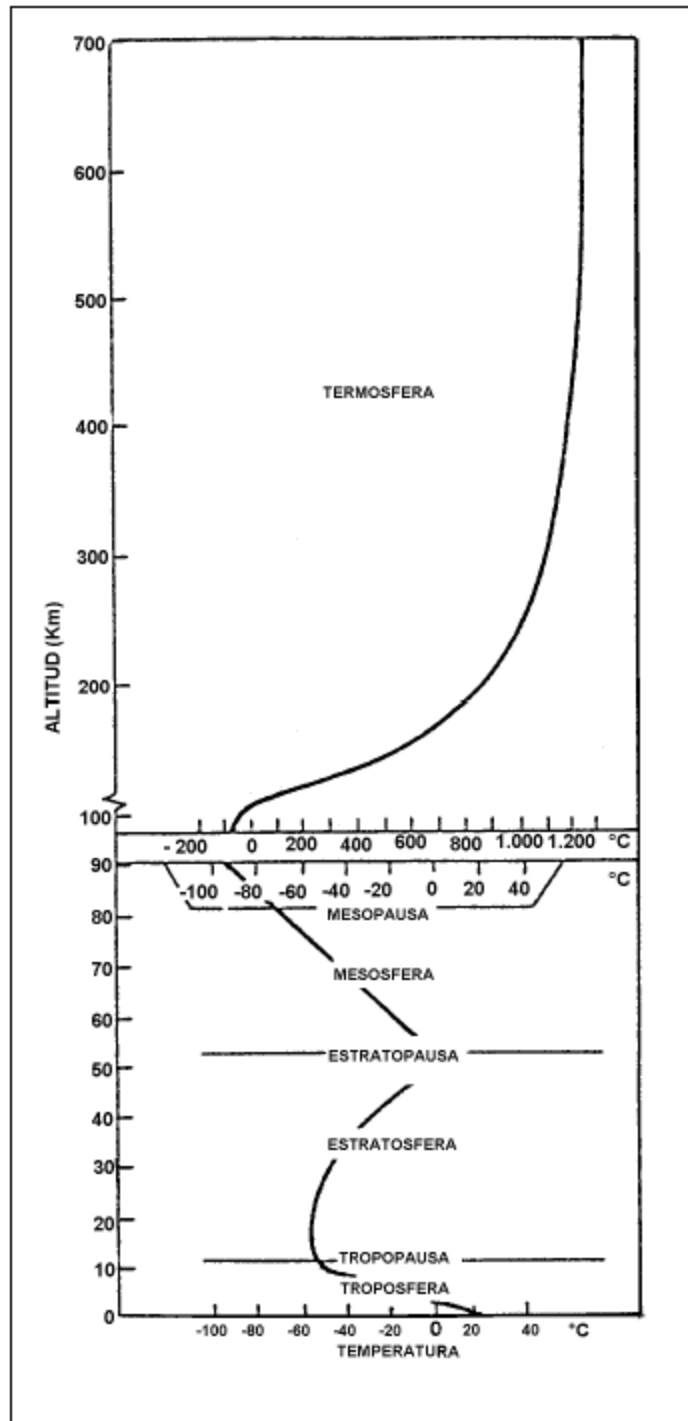


Figura 1. Estructura de la atmósfera

4. Presión atmosférica

La presión disminuye rápidamente con la altura, pero además hay diferencias de presión entre unas zonas de la troposfera y otras que tienen gran interés desde el punto de vista climatológico. Son las denominadas zonas de altas presiones, cuando la presión reducida al nivel del mar y a 0°C, es mayor de 1.013 milibares o zonas de bajas presiones si el valor es menor que ese número. En meteorología se trabaja con presiones reducidas al nivel del mar y a 0°C para igualar datos que se toman a diferentes alturas y con diferentes temperaturas y poder hacer así comparaciones.

El aire se desplaza de las áreas de más presión a las de menos formándose de esta forma los vientos.

Se llaman isobaras a las líneas que unen puntos de igual presión. Los mapas de isobaras son usados por los meteorólogos para las predicciones del tiempo.

5. Agua en la atmósfera

La atmósfera contiene agua en forma de:

- vapor que se comporta como un gas
- pequeñas gotitas líquidas (nubes)
- cristalitas de hielo (nubes)

Agua contenida en la atmósfera:

- Contiene unos 12.000 km³ de agua
- Entre 0 y 1.800 m está la mitad del agua
- Se evaporan (y licuan) unos 500.000 km³/año
- Evaporación potencial en l/m²/año:
 - En océanos: 940 mm/año
 - En continentes: 200-6.000 mm/año

Humedad

Una masa de aire no puede contener una cantidad ilimitada de vapor de agua. Hay un límite a partir del cual el exceso de vapor se licua en gotitas. Este límite depende de la temperatura ya que el aire caliente es capaz de contener mayor cantidad de vapor de agua que el aire frío. Así, por ejemplo, 1 m³ de aire a 0°C puede llegar a contener como máximo 4,85 gramos de vapor de agua, mientras que 1 m³ de aire a 25°C puede contener 23,05 gramos de vapor de agua. Si en 1 m³ de aire a 0°C intentamos introducir más de 4,85 gramos de vapor de agua, por ejemplo 5 gramos, sólo 4,85 permanecerán como vapor y los 0,15 gramos restantes se convertirán en agua. Con estas ideas se pueden entender los siguientes conceptos muy usados en las ciencias atmosféricas:

Humedad de saturación: Es la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener un metro cúbico de aire en unas condiciones determinadas de presión y temperatura. Ver Tabla 2.

Tabla 2. Humedad de saturación del vapor de agua

Temperatura °C	Saturación g/m ³
-20	0.89
-10	2.16
0	4.85
10	9.40
20	17.30
30	30.37
40	51.17

Humedad absoluta: Es la cantidad de vapor de agua por metro cúbico que contiene el aire que estemos analizando.

Humedad relativa: Es la relación entre la cantidad de vapor de agua contenido realmente en el aire estudiado (humedad absoluta) y el que podría llegar a contener si estuviera saturado (humedad de saturación). Se expresa en un porcentaje. Así, por ejemplo, una humedad relativa normal junto al mar puede ser del 90% lo que significa que el aire contiene el 90% del vapor de agua que puede admitir, mientras un valor normal en una zona seca puede ser de 30%.

El vapor que se encuentra en la atmósfera procede de la evaporación del agua de los océanos, de los ríos y lagos y de los suelos húmedos. Que se evapore más o menos depende de la temperatura y del nivel de saturación del aire, pues un aire cuya humedad relativa es baja puede admitir mucho vapor de agua procedente de la evaporación, mientras que un aire próximo a la saturación ya no admitirá vapor de agua por muy elevada que sea la temperatura.

El concepto de evapotranspiración es especialmente interesante en ecología pues se refiere al conjunto del vapor de agua enviado a la atmósfera en una superficie, y es la suma del que se evapora directamente desde el suelo y el que las plantas y otros seres vivos emiten a la atmósfera en su transpiración.

Tabla 3. Características de la atmósfera en distintas alturas*

Altura (m)	Presión (milibares)	Densidad (g/dm ³)	Temperatura (°C)
0	1013	1,226	15
1.000	898,6	1,112	8,5
2.000	794,8	1,007	2
3.000	700,9	0,910	-4,5
4.000	616,2	0,820	-11
5.000	540	0,736	-17,5
10.000	264,1	0,413	-50
15.000	120,3	0,194	-56,5

* Promedios válidos para las latitudes templadas

6. Climas locales

En las distintas regiones o localidades hay una gran variación de tipos de clima que no se pueden explicar si atendemos sólo a las grandes zonas climáticas. Esto sucede por la importante influencia de la distribución de las masas de tierra y de agua, de montañas y de vegetación en el clima.

a) Influencia de las masas de agua: El agua tiene una gran capacidad de almacenar calor, por su elevado calor específico, y durante el día o en verano toma calor que luego libera por la noche o en la estación fría. Por esto las zonas costeras disfrutan de un clima suave, sin bruscas variaciones de temperatura.

Las brisas que se forman en las zonas costeras desempeñan un importante papel en esa dulcificación de las temperaturas. Durante el día soplan del mar a la tierra, trayendo aire fresco, mientras que por la noche lo hacen de la tierra al mar.

Las corrientes marinas tienen también una gran influencia en el clima de las zonas costeras que bañan. Por ejemplo, la corriente del Golfo que es cálida, hace más suave y más húmedo el clima de toda la Europa atlántica. Las corrientes frías provocan un clima más frío y brumoso, aunque no siempre más lluvioso; por ejemplo, cerca de los trópicos facilitan la aparición de zonas desérticas costeras.

b) Influencia de las montañas: Cuando las masas de aire que vienen del océano cargadas de humedad se encuentran con el obstáculo de las montañas, ascienden para poder sobrepasarlas. Al ascender se enfrían por lo que pueden admitir menos vapor de agua y parte del que llevan se convierte en nubes y se producen precipitaciones. Así las laderas de las montañas que reciben habitualmente aire del océano son húmedas. Pero cuando el aire sobrepasa las montañas cae hacia niveles más bajos, produciéndose el efecto contrario. Puede contener más agua en forma de vapor por lo que las nubes desaparecen y esas laderas de la montaña reciben mucha menos lluvia.

Este efecto, denominado Foehn, es el responsable de las grandes diferencias de pluviosidad que se producen entre zonas muy cercanas, es el caso de Mendoza con la deposición de nieve o lluvia en alta montaña y la transformación de esa masa de aire, sin humedad en viento caliente y de baja humedad (viento Zonda).

c) Influencia de la vegetación: Las plantas toman agua por sus raíces y la transpiran, en forma de vapor, por sus hojas. De esta forma contribuyen a aumentar de forma muy significativa los niveles de evapotranspiración y se ha comprobado que cuando en algunas zonas de selva tropical se ha producido la tala de grandes extensiones de árboles, al subir menos vapor de agua del suelo a la atmósfera, se han producido notables alteraciones climáticas, disminuyendo las lluvias en ese lugar.

El Niño

El fenómeno denominado El Niño consiste en un calentamiento de las aguas del Pacífico que tiene lugar cada 2 a 7 años y que tiene una gran influencia en el comportamiento del clima en diversos lugares del mundo.

En condiciones normales hay una masa superficial de agua cálida en la zona más Oeste del océano Pacífico, en la franja tropical, cerca de Australia, mientras que cerca de las costas de América del Sur el agua superficial es más fría. Esta distribución del agua está ocasionada porque los vientos dominantes en esta zona del océano van de Este a Oeste (de América hacia Australia) y arrastran al agua superficial cálida hacia Australia. Este desplazamiento del agua superficial hace posible que agua profunda y fría salga a la superficie junto a las costas de América del Sur (corriente de Humboldt).

Esta corriente arrastra nutrientes del fondo, crecen las poblaciones de peces y se forman las buenas pesquerías propias de la zona.

Pero cada 2 a 7 años el régimen de los vientos cambia y soplan de Oeste a Este a la vez que la masa de agua unos 3 a 7°C más caliente que lo normal se hace más extensa y se traslada hacia el Este del Pacífico hasta llegar a tocar en ocasiones la costa de Perú.

Este es el fenómeno llamado El Niño al que pusieron este nombre los pescadores de Perú que notaban que algunos años en la época de la Navidad (Niño Dios) el agua subía su temperatura.

Cuando sucede este fenómeno durante 12 a 15 meses las corrientes marinas cambian en la zona, se impide que afloren a la superficie las corrientes frías que arrastran nutrientes del fondo y las pesquerías disminuyen su población por falta de alimento.

También se alteran las corrientes atmosféricas. Se ha comprobado que este fenómeno influye notablemente en el clima de zonas de América, Australia, África y Asia.

Según algunos estudios también tiene una responsabilidad importante en las inundaciones que periódicamente ocurren en algunas zonas.

7. Oxígeno y Dióxido de Carbono

El oxígeno no existía en la atmósfera primitiva y todo el que ahora hay, ha sido producido por las plantas y otros organismos fotosintéticos. Para la gran mayoría de los organismos que

vivían en la Tierra primitiva con su atmósfera reductora, el oxígeno era una sustancia tóxica por su gran poder oxidante. Pero la capacidad de adaptación de la vida es asombrosa y los animales y otros seres vivos actuales lo utilizan para oxidar los alimentos y obtener así la energía que necesitan, en el proceso que llamamos respiración.

Los animales necesitan el oxígeno en las mitocondrias de sus células y para que llegue a todas las partes del cuerpo con facilidad y eficacia usan el sistema respiratorio y el circulatorio. En el sistema respiratorio el oxígeno pasa del aire atmosférico a la sangre a través de epitelios muy finos que deben permanecer siempre humedecidos para que las células que los forman no mueran. En el medio acuático se respira por branquias externas, pero en el medio aéreo las branquias no sirven porque se resecan. Los insectos solucionaron este problema con el desarrollo de tráqueas y los vertebrados y otros animales con los pulmones.

El dióxido de carbono, CO₂, es un nutriente fundamental para las plantas pues es la fuente de átomos de carbono que usan para sintetizar los azúcares y otras moléculas orgánicas que forman su organismo mediante el proceso que llamamos fotosíntesis.

Las plantas lo toman de la atmósfera a través de los estomas y en las células, con ayuda de la energía de la luz absorbida por la clorofila, realizan la fotosíntesis.

La concentración de CO₂ en la atmósfera es de algo más de 300 ppm pero se observa la influencia de las plantas en pequeñas oscilaciones. Por la noche aumenta ligeramente al no hacer fotosíntesis las plantas y lo mismo sucede en el invierno.

La humedad del aire en la vida de los organismos.

Las plantas tienen un contenido en agua comprendido entre un 60 y un 85% de su peso. Continuamente transpira agua por sus estomas, más o menos según estén estos más o menos abiertos y, por lo tanto, si la transpiración potencial es muy alta y tienen poca agua disponible para absorber por sus raíces se van deshidratando.

Los animales terrestres tienen contenidos en agua que van desde el 52% de su peso en el caso de la vaca hasta el 88% en la lombriz. En el hombre aproximadamente el 64% del peso es agua. Cuando viven en ambientes muy secos y no retoman el agua que van perdiendo pueden llegar a deshidratarse y morir. Las lombrices y sanguijuelas pueden perder hasta el 70% de su peso en agua sin morir, las ranas el 40%, las ratas el 25-30% y se conoce el caso de un hombre de 70 Kg que permaneció perdido 8 días en el desierto y sobrevivió después de haber perdido 17 Kg de agua (un 25% de su peso).

Las corrientes de aire Las corrientes de aire generadas en la atmósfera influyen en la dispersión de los organismos. Sobre todo son eficaces con las estructuras de pequeño tamaño: polen, esporas, semillas, etc.; pero en algunos casos llegan a transportar organismos de mucho mayor tamaño.

8. Disminución del ozono estratosférico

El ozono presente en la atmósfera tiene muy importantes repercusiones para la vida, a pesar de que se encuentra en cantidades muy bajas.

Cuando está presente en las zonas de la atmósfera más cercanas a la superficie es un contaminante que suele formar parte del smog fotoquímico.

El **ozono de la estratosfera** juega un importante papel para la vida en el planeta al impedir que las radiaciones ultravioletas lleguen a la superficie. Uno de los principales problemas ambientales detectados en los últimos años ha sido la destrucción de este ozono estratosférico por átomos de Cloro libres liberados por los CFC emitidos a la atmósfera por la actividad humana.

Ozono troposférico: contaminante en el smog fotoquímico. En las zonas próximas a la superficie (troposfera) lo conveniente es que no haya ozono. Cuando lo hay, como sucede en algunos lugares, es un contaminante que forma parte del peligroso "smog" fotoquímico.

Ozono estratosférico: filtro de las radiaciones ultravioleta. En cambio el ozono que se encuentra en la estratosfera, entre los 10 y 45 kilómetros, cumple la importante función de absorber las radiaciones ultravioletas procedentes del sol que pueden ser muy dañinas para los seres vivos. En los últimos decenios este ozono está siendo destruido al reaccionar con átomos de cloro que cada vez son más abundantes en la estratosfera como consecuencia de algunas actividades humanas.

Clorofluorocarbonos (CFC)

El cloro que liberan destruye el ozono. El incremento de átomos de cloro en esta zona de la atmósfera está originado, principalmente, por unos compuestos químicos denominados CFC (clorofluorocarbonos). Son productos muy poco reactivos, lo que hizo que fueran la solución óptima para la fabricación de frigoríficos, goma espuma, extintores, aerosoles, y como fumigantes en la agricultura (bromuro de metilo), etc.

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 estratosfera 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.

Radiación ultravioleta

Las radiaciones solares que pasan a través de estos "agujeros" contienen una proporción de rayos ultravioleta considerablemente mayor que las radiaciones normales. Estas radiaciones podrían llegar a producir un incremento en cánceres de piel y otras enfermedades, aunque no está demostrado que esto se haya producido o se esté produciendo. Sí que hay estudios que indican que el fitoplancton de los mares que rodean a la Antártida está sufriendo algunas modificaciones que se pueden atribuir, con bastante probabilidad, a este aumento de radiación ultravioleta.

La sociedad reacciona: Soluciones

Cuando la evidencia científica del daño causado por los CFCs se fue haciendo unánime, la industria aceptó la necesidad de desarrollar nuevos productos para sustituirlos y los gobiernos llegaron a acuerdos internacionales (Montreal, 1987; Londres, 1990 y Copenhague 1992) para limitar la fabricación de esos productos dañinos para el ozono.

Sustancias que disminuyen el ozono

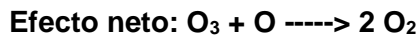
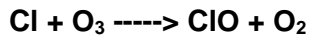
Las sustancias que disminuyen el ozono incluyen los CFCs, HCFCs, halones, bromuro de metilo, tetracloruro de carbono y metilcloroformo.

En general son sustancias muy estables en la troposfera y que sólo se degradan en la estratosfera al ser sometidas a intensas radiaciones ultravioletas. Cuando se rompen sus moléculas se liberan átomos de cloro y bromo que son los que destruyen ozono estratosférico.

Mecanismo de destrucción del ozono

Las sustancias como los CFCs, y las otras que se citan, que disminuyen la capa de ozono no destruyen el ozono ellas directamente. Primero sufren fotólisis, formando cloruro de hidrógeno (HCl) o nitrato de cloro (ClONO₂), moléculas que tampoco reaccionan con el ozono directamente, pero que se descomponen lentamente dando, entre otras cosas, una pequeña cantidad de átomos de cloro (Cl) y de moléculas de monóxido de cloro (ClO) que son las que catalizan la destrucción del ozono.

Las reacciones envueltas en los procesos de destrucción son más de 100, pero se pueden simplificar en las siguientes:



El átomo de cloro actúa como catalizador, es decir, no es consumido en la reacción, por lo que destruye miles de moléculas de ozono antes de desaparecer. El átomo de bromo es aún más destructivo que el de cloro (unas 10 o 100 veces más). Por otro lado, junto a esto, las concentraciones de cloro son muy bajas en la estratosfera y las de bromo todavía menores.

Ozono estratosférico - Estratosfera

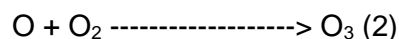
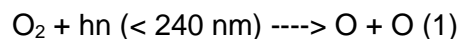
Es la capa de la atmósfera que se extiende entre los 15 y los 50 km. La tropopausa, que es la zona que limita la troposfera y la estratosfera es un borde muy claro, pero no está exactamente a los 15 km, sino que oscila entre los 9 y los 18 km dependiendo de la estación y de la latitud.

En esta zona la temperatura aumenta con la altitud debido a la absorción de radiaciones UV por el oxígeno y el ozono. Esta distribución de temperaturas origina una "inversión térmica" que dificulta el movimiento vertical de los gases manteniéndolos perfectamente estratificados (estratosfera).

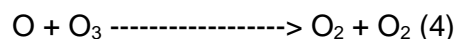
Formación, destrucción y reacciones del ozono en la estratosfera

El ozono está continuamente formándose y destruyéndose en la estratosfera, en una serie de reacciones, llamadas reacciones de Chapman, que se pueden simplificar así:

Formación del ozono



Destrucción del ozono



Formación del ozono: Como se observa en la reacción (1), los enlaces de la molécula de oxígeno se pueden romper al absorber la energía de un fotón de radiación ultravioleta de longitud de onda menor de 240 nm, formando dos átomos de oxígeno libres. En (2) un átomo de oxígeno libre reacciona con una molécula de oxígeno formando una de ozono.

Esta reacción suele producirse con la intervención de alguna otra molécula M que no se consume en la reacción.

Destrucción del ozono: En (3) se observa que las moléculas de ozono absorben radiaciones ultravioleta de menos de 320 nm, rompiéndose en moléculas de oxígeno más átomos de oxígeno libres. Los átomos de oxígeno libres reaccionan con más moléculas de ozono (4) formándose oxígeno molecular.

La reacción (4) es bastante lenta en sí misma, pero diversas sustancias como los óxidos de nitrógeno (NO y NO₂), el hidrógeno y sus óxidos (H, OH, and HO₂) y el cloro y sus óxidos (Cl, ClO y ClO₂) actúan como catalizadores acelerando la destrucción del ozono. En esta reacción es donde inciden de forma más relevante las sustancias de origen humano que destruyen la capa de ozono.

En conjunto, en condiciones normales, se forma un sistema en equilibrio en el que tantas moléculas de ozono se forman por unidad de tiempo como las que se destruyen, por lo que su concentración permanece constante. El ozono es mucho más raro que el oxígeno normal en la alta atmósfera. De cada 10 millones de moléculas de aire, unos 2 millones son oxígeno normal y sólo 3 moléculas son de ozono.

Como se puede observar, en todo el conjunto de reacciones que se relacionan con el ozono hay una absorción de radiaciones UV cuya eliminación es muy beneficiosa para la vida sobre la superficie de la Tierra.

De cualquier forma numerosos experimentos muestran que de la disminución del ozono estratosférico las sustancias destructoras del ozono de origen humano son responsables de un 85%, mientras que las alteraciones naturales sólo son responsables del 15% restante.

Radiaciones ultravioleta. Características

Llamamos radiaciones ultravioleta (UV) al conjunto de radiaciones del espectro electromagnético con longitudes de onda menores que la radiación visible (luz), desde los 400 hasta los 150 nm.

Es un tipo de radiación dañina, especialmente para el ADN. Provoca melanoma y otros tipos de cáncer de piel. También puede estar relacionada, aunque esto no es tan seguro, con daños en algunos materiales, cosechas y formas de vida marina.

Radiación que llega a la superficie

El oxígeno y el ozono estratosféricos absorben entre el 97 y el 99% de las radiaciones UV de entre 150 y 300 nm, procedente del sol. La cantidad de radiación UV-B recibida en la superficie depende mucho de la latitud y la altura sobre el nivel del mar del lugar. Cerca de las zonas polares el sol está siempre bajo en el horizonte y los rayos solares atraviesan capas más espesas de atmósfera por lo que la exposición a UV-B es, de media, unas mil veces menor en las zonas polares que en el ecuador.

También influye la cubierta de nubes que protege más cuanto más gruesa es y la proximidad a las zonas industriales porque la contaminación con ozono troposférico típica del smog fotoquímico filtra estas radiaciones.

Efectos para la salud y los seres vivos de las radiaciones UV-B

Daños genéticos: La radiación UV-B interfiere con los enlaces del ADN dañando la molécula. Muchos de estos errores son reparados por los sistemas enzimáticos de la célula pero algunas mutaciones perviven y pueden producir cánceres, especialmente de piel.

El 90% de los cánceres de piel se atribuyen a los rayos UV-B y se supone que una disminución en la capa de ozono de un 1% podría incidir en aumentos de un 4 a un 6% de distintos tipos de cáncer de piel, aunque esto no está tan claro en el más maligno de todos: el melanoma, cuya relación con exposiciones cortas pero intensas a los rayos UV parece notoria, aunque poco comprendida y puede llegar a manifestarse hasta 20 años después de la sobre exposición al sol.

Daños en los ojos: La exposición a dosis altas de rayos UV puede dañar los ojos, especialmente la córnea que absorbe muy fácil estas radiaciones. A veces se producen cegueras temporales y la exposición crónica se asocia con mayor facilidad de desarrollar cataratas.

Daños a la vida marina: Una de las mayores preocupaciones derivadas de la formación del agujero de ozono de la Antártida ha sido ver la influencia en el plancton marino del incremento de rayos UV en los mares de la zona. Los organismos del plancton se concentran en la capa de unos 2 metros próxima a la superficie oceánica y son fundamentales en la cadena trófica. Algunos estudios han encontrado descensos en su productividad de entre el 6 y el 12% en las 10 a 12 semanas que coinciden con el agujero de ozono, lo que supone un descenso medio del 2 o 4%, cantidad detectable, aunque no catastrófica todavía.

III. CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA

La atmósfera es esencial para la vida por lo que sus alteraciones tienen una gran repercusión en el hombre y otros seres vivos y, en general, en todo el planeta. Es un medio extraordinariamente complejo y la situación se hace todavía más complicada y difícil de estudiar

cuando se le añaden emisiones de origen humano en gran cantidad, como está sucediendo en estas últimas décadas.

Una atmósfera contaminada puede dañar la salud de las personas y afectar a la vida de las plantas y los animales. Pero, además, los cambios que se producen en la composición química de la atmósfera pueden cambiar el clima, producir lluvia ácida o destruir el ozono, fenómenos todos ellos de una gran importancia global. Se entiende la urgencia de conocer bien estos procesos y de tomar las medidas necesarias para que no se produzcan situaciones graves para la vida de la humanidad y de toda la biosfera.

1. La contaminación del aire y su origen

Nuestra actividad, incluso la más normal y cotidiana, origina contaminación. Cuando usamos electricidad, medios de transporte, metales, plásticos o pinturas; cuando se consumen alimentos, medicinas o productos de limpieza; cuando se enciende la calefacción o se calienta la comida o el agua; etc. se producen, directa o indirectamente, sustancias contaminantes.

En un país industrializado la contaminación del aire procede, más o menos a partes iguales, de los sistemas de transporte, los grandes focos de emisiones industriales y los pequeños focos de emisiones de las ciudades o el campo; pero no debemos olvidar que siempre, al final, estas fuentes de contaminación dependen de la demanda de productos, energía y servicios que hacemos el conjunto de la sociedad.

2. Conceptos básicos en contaminación atmosférica

Hay un gran número de definiciones distintas de contaminación atmosférica, dependiendo del punto de vista que se adopte. Así tenemos:

"Cualquier circunstancia que añadida o quitada de los normales constituyentes del aire, puede llegar a alterar sus propiedades físicas o químicas lo suficiente para ser detectado por los componentes del medio".

Lo habitual es considerar como contaminantes sólo aquellas sustancias que han sido añadidas en cantidades suficientes como para producir un efecto medible en las personas, animales, vegetales o los materiales.

Así, otra definición es: *"Cualquier condición atmosférica en la que ciertas sustancias alcanzan concentraciones lo suficientemente elevadas sobre su nivel ambiental normal como para producir un efecto mensurable en el hombre, los animales, la vegetación o los materiales".*

Sustancias que pueden ser contaminantes

Puede ser un contaminante cualquier elemento, compuesto químico o material de cualquier tipo, natural o artificial, capaz de permanecer o ser arrastrado por el aire. Puede estar en forma de partículas sólidas, gotas líquidas, gases o en diferentes mezclas de estas formas.

Contaminación primaria y secundaria

Resulta muy útil diferenciar los contaminantes en dos grandes grupos con el criterio de si han sido emitidos desde fuentes conocidas o se han formado en la atmósfera. Así tenemos:

- *Contaminantes primarios:* Aquellos procedentes directamente de las fuentes de emisión.
- *Contaminantes secundarios:* Aquellos originados en el aire por interacción entre dos o más contaminantes primarios, o por sus reacciones con los constituyentes normales de la atmósfera.

Sustancias que contaminan la atmósfera

Los contaminantes atmosféricos son tan numerosos que resulta difícil agruparlos para su estudio. Siguiendo una agrupación bastante frecuente los incluiremos en los siguientes grupos:

- Óxidos de carbono
- Óxidos de azufre
- Óxidos de nitrógeno
- Compuestos orgánicos volátiles
- Partículas y aerosoles
- Oxidantes
- Ruido
- Calor
- Sustancias radiactivas
- Otros contaminantes

3. Fuentes

Se denomina “fuente” a todo elemento, sea natural o producto de la actividad del hombre, que desprenda sustancias que produzcan o tiendan a producir contaminación atmosférica. Las fuentes emisoras de contaminantes son muy numerosas y de diverso origen. La evaluación de las fuentes de origen natural es muy compleja y los diferentes autores difieren en la apreciación de su importancia (Fig. 2)

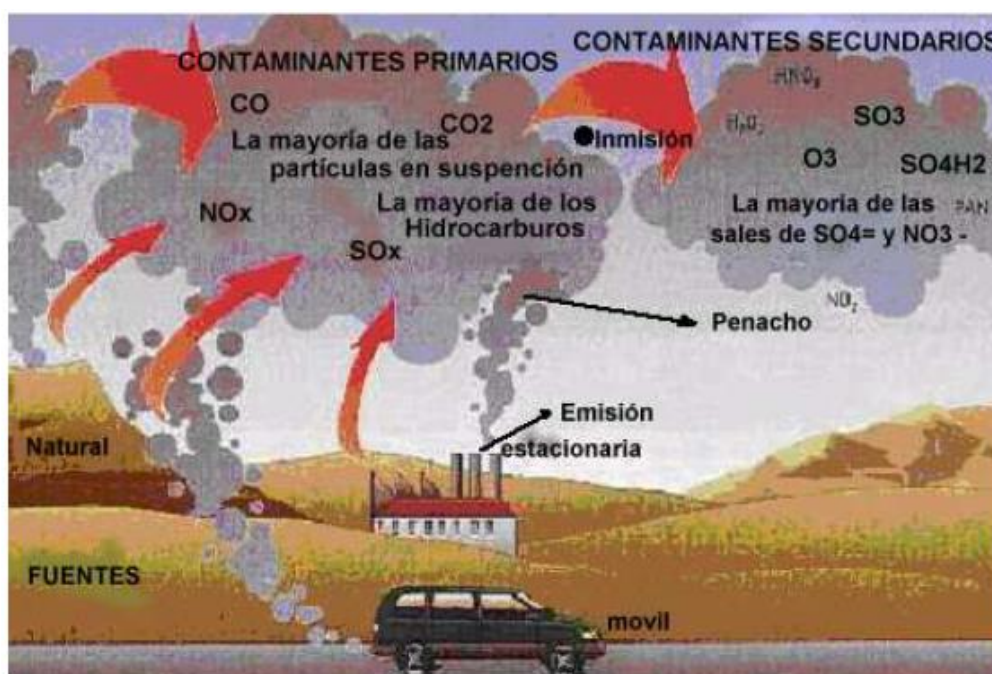


Figura 2. Fuentes de contaminantes

Algunos de los principales contaminantes atmosféricos son sustancias que se encuentran de forma natural en la atmósfera. Los consideramos contaminantes cuando sus concentraciones son notablemente más elevadas que en la situación normal. Así se observan en la Tabla 4, los niveles de concentración entre aire limpio y aire contaminado.

Tabla 4. Concentraciones de aire limpio y contaminado

Componentes	Aire limpio	Aire contaminado
SO ₂	0.001 – 0.01 ppm	0.02 – 2 ppm
CO ₂	310 – 330 ppm	350 – 700 ppm
CO	< 1 ppm	5 – 200 ppm
NOx	0.001 – 0.01 ppm	0.01 – 0.5 ppm
Hidrocarburos	1 ppm	1 -20 ppm
Partículas	10 – 20 g/m ³	70 – 700 g/m ³

No obstante, la dificultad de evaluación, se ha tratado de determinar las emisiones que se producen en el mundo para las diferentes fuentes y contaminantes, y se toman como valores aproximados los indicados en la Tabla 5.

Tabla 5. Contaminantes

Compuestos de Azufre	Cantidades (10⁶ t/año)
SO₂	
Generación de electricidad	60
Fuentes industriales	27,5
Transporte	2
Actividad natural (volcanes)	2
SH₂	
Descomposición biológica	90
Fuentes industriales	2,7
SO₄	
Aerosol marino	118
Compuestos de Nitrógeno	
NO y NO₂	
Combustión de carbón	25
Combustión de petróleo y gas	22
Otras emisiones de origen artificial	1,5
Acción bacteriana y reacciones en alta atmósfera	450
NH₃	
Descomposición biológica	5350
Actividad humana	3,8
Compuestos de carbono	
CO	
Transportes	247
Generación de calor y electricidad	50
Procesos industriales	27
Incineración de residuos	23
Otros	23
Hidrocarburos	
CH₄	
Natural (pantanos)	1450
Terpenos	
Vegetal	154
Todas las actividades humanas	80
Partículas	
Naturales	2500
Artificiales	Aprox. 300

4. Óxidos de carbono

Incluyen el dióxido de carbono (CO₂) y el monóxido de carbono (CO). Los dos son contaminantes primarios.

a- Dióxido de carbono

Características: Es un gas sin color, olor ni sabor que se encuentra presente en la atmósfera de forma natural. No es tóxico. Desempeña un importante papel en el ciclo del carbono en la naturaleza y enormes cantidades, del orden de 1012 toneladas, pasan por el ciclo natural del carbono, en el proceso de fotosíntesis.

Acción contaminante: Dada su presencia natural en la atmósfera y su falta de toxicidad, no deberíamos considerarlo una sustancia que contamina, pero se dan dos circunstancias que lo hacen un contaminante de gran importancia en la actualidad:

- Es un gas que produce un importante efecto de atrapamiento del calor, el llamado efecto invernadero; y
- Su concentración está aumentando en los últimos decenios por la quema de los combustibles fósiles y de grandes extensiones de bosques

Por estos motivos es uno de los gases que más influye en el importante problema ambiental del calentamiento global del planeta y el consiguiente cambio climático. Analizamos este efecto más adelante, dada su importancia.

Emisiones: Aproximadamente un 35% del emitido procede de combustiones diversas (industriales, domésticas, comerciales, etc.), un 25% de las plantas eléctricas, y alrededor de otro 25% procede del transporte.

b- Monóxido de carbono

Características: Es un gas sin color, olor ni sabor. Es un contaminante primario.

Acción contaminante: Es tóxico porque envenena la sangre impidiendo el transporte de oxígeno. Se combina fuertemente con la hemoglobina de la sangre y reduce drásticamente la capacidad de la sangre de transportar oxígeno. Es responsable de la muerte de muchas personas en minas de carbón, incendios y lugares cerrados (garajes, habitaciones con braseros).

Emisiones: Alrededor del 90% del que existe en la atmósfera se forma de manera natural, en la oxidación de metano (CH_4) en reacciones fotoquímicas. Se va eliminando por su oxidación a CO_2 . La actividad humana lo genera en grandes cantidades siendo, después del CO_2 , el contaminante emitido en mayor cantidad a la atmósfera por causas no naturales. Procede, principalmente, de la combustión incompleta de la gasolina y el gasoil en los motores de los vehículos.

5. Óxidos de azufre

Incluyen el dióxido de azufre (SO_2) y el trióxido de azufre (SO_3). (SO_x)

a- Dióxido de azufre (SO_2)

Características: Importante contaminante primario. Es un gas incoloro y no inflamable, de olor fuerte e irritante.

Acción contaminante: Su vida media en la atmósfera es corta, de unos 2 a 4 días. Casi la mitad vuelve a depositarse en la superficie, húmedo o seco y el resto se convierte en iones sulfato (SO_4^{2-}). Por este motivo, es un importante factor en la lluvia ácida.

Emisiones: En conjunto, más de la mitad del que llega a la atmósfera es emitido por actividades humanas, sobre todo por la combustión de carbón y petróleo y por la metalurgia. Otra fuente muy importante es la oxidación del H_2S . En la naturaleza, es emitido en la actividad volcánica. En algunas áreas industrializadas hasta el 90% del emitido a la atmósfera procede de las actividades humanas, aunque en los últimos años está disminuyendo su emisión en muchos lugares gracias a las medidas adoptadas. De todas formas las cantidades producidas siguen siendo bastante grandes y, de hecho, es el contaminante primario emitido en mayor cantidad después del CO.

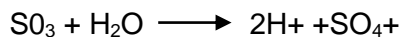
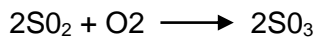
b- Trióxido de azufre (SO_3)

Contaminante secundario que se forma cuando el SO_2 reacciona con el oxígeno en la atmósfera. Posteriormente este gas reacciona con el agua formando ácido sulfúrico con lo que contribuye de forma muy importante a la lluvia ácida y produce daños importantes en la salud, la reproducción de peces y anfibios, la corrosión de metales y la destrucción de monumentos y construcciones de piedra.

Lluvia acida

Las pequeñas gotas formadas por condensación en la atmósfera deben tener normalmente un pH cercano a 7. Sin embargo, la disolución del CO₂ atmosférico en el agua de lluvia tiende a bajar el pH debido a la formación del ácido carbónico. Este ácido es muy débil y en el equilibrio con el CO₂, el pH del agua de lluvia debe tener un valor cercano a 5,65. No obstante se han obtenido promedios anuales entre 4 y 5. Se detectaron así, concentraciones ácidas de 10 a 10,000 veces mayores que las que se pudieran esperar de las fuentes naturales. Las mediciones efectuadas en Gander, Terranova, indican valores de pH de 4.0 a 4.5 en dicha región sobre una base anual.

Valores similares son válidos para la mitad oriental de Estados Unidos. Estos bajos valores se deben a la transformación del SO₂ y el NO_x en ácidos, al ser absorbidos por el agua de las nubes y las gotas de lluvia. Una reacción típica podría ser:



Estos aerosoles ácidos se depositan luego en cantidades significativas sobre la superficie del suelo y de las masas de agua. Este fenómeno se llama lluvia ácida.

La presencia creciente de estos ácidos se atribuye al aumento en las emisiones de SO₂ y NO_x que han ocurrido desde 1940 con el mayor uso de combustibles fósiles en los países industrializados.

Una alta proporción de derivados del ácido nítrico indica que las fuentes móviles son responsables, mientras que una alta proporción de derivados del ácido sulfúrico sugiere que son fuentes estacionarias.

Con frecuencia las concentraciones de sulfatos y nitratos formados en la atmósfera son bajas, pero el efecto de deposición es acumulativo. La relación entre las emisiones de SO₂ y la acidificación está bien establecida; la contribución debida al NO_x es algo menos conocida.

Dichos contaminantes viajan en los 2 kilómetros más bajos de la atmósfera y son arrastrados a menudo cientos de kilómetros de su fuente. Su presencia se ha observado en un sentido cualitativo por el extraordinario aumento de la neblina de verano en regiones de países industrializados. La lluvia ácida ha afectado áreas de Suiza, la parte Sur de los países escandinavos y especialmente la mitad Noreste de Norteamérica. En este último caso, las mediciones indican un serio problema en las provincias atlánticas del Canadá y en la región de las montañas de Estados Unidos, por ejemplo. Sin embargo, datos recientes indican que el problema aumenta. Incluso importantes áreas urbanas de la costa del Oeste se ven afectadas. El fenómeno ha estado en estudio en Europa desde principios de 1950. El problema existe en la parte Norte de Europa, puesto que gran parte de la contaminación del aire producida en el continente es transportada en dirección Noreste hacia Escandinavia.

A pesar que la concentración de partículas ha sido reducida en muchas naciones industrializadas mediante técnicas efectivas de control sobre las fuentes de partículas, la fracción de partículas remanente, que está en forma de un aerosol ácido, continúa en aumento. Las condiciones de la atmósfera que favorecen la formación de aerosoles de sulfato incluyen la mala dispersión atmosférica y mucha insolación. Tales condiciones son también favorables para la formación de ozono.

La concentración ácida natural en el agua de lluvia debe ser menor de 10 µm/l. En Canadá en 1975, la concentración ácida era aproximadamente de 40 µm/l (expresada como H⁺). En los Países Bajos, el pH promedio bajó a menos de 4.0, sobre una base anual. En Suecia, el pH del agua de lluvia cambia aproximadamente de 0.3 a 0.4 unidades por década.

Hay varios efectos de la lluvia ácida que son inquietantes. Primero, existe una acidificación de las fuentes naturales de agua. Esto puede tener un efecto devastador sobre la vida de los peces. La trucha y el salmón son especialmente sensibles a un pH bajo. La

reproducción de muchos peces se detiene ante un pH con un valor menor de 5.5. También se observa una disminución en el plancton y la fauna del fondo, lo que reduce el suministro de alimento de los peces. En segundo lugar, tiene lugar una lixiviación de los nutrientes del suelo. Esta desmineralización puede llegar a una pérdida de productividad de las cosechas y los bosques, o un cambio en la vegetación natural. La vegetación misma puede verse directamente dañada, y se observa un aumento en la corrosión de los materiales. La severidad del daño a las tierras y las extensiones de agua está parcialmente determinada por los minerales en el terreno de una región determinada. Aquellas áreas que contienen rocas como carbonato de calcio o minerales similares se ven protegidas por los mismos contra el ataque de la lluvia ácida. En dichas regiones, los lagos tienden a mantener el pH más cerca de 5 ó 6.

Como no es posible alterar los resultados de la lluvia ácida una vez que haya tenido lugar en una región, la única solución es el control de las emisiones en la fuente. En el pasado se consideró la desulfuración de los combustibles fósiles a fin de impedir la contaminación local del aire.

Cada vez resulta más evidente la necesidad de controlar el SO_2 (y del NO_2), para impedir asimismo la dispersión del amplio rango de los contaminantes. De este modo, el control de emisión cubre un ámbito internacional ya que las emisiones de un país afectan la naturaleza de la lluvia en otro país.

c- Otros

Algunos otros gases como el sulfuro de hidrógeno (H_2S) son contaminantes primarios, pero normalmente sus bajos niveles de emisión hacen que no alcancen concentraciones dañinas.

6. Óxidos de nitrógeno

Incluyen el óxido nítrico (NO), el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el óxido nitroso (N_2O). NO_x (conjunto de NO y NO_2).

El óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2) se suelen considerar en conjunto con la denominación de NO_x . Son contaminantes primarios de mucha trascendencia en los problemas de contaminación.

El emitido en más cantidad es el NO, pero sufre una rápida oxidación a NO_2 , siendo este el que predomina en la atmósfera. NO_x tiene una vida corta y se oxida rápidamente a NO_3^- en forma de aerosol o a HNO_3 (ácido nítrico). Tiene una gran trascendencia en la formación del smog fotoquímico, del nitrato de peroxiacetilo (PAN) e influye en las reacciones de formación y destrucción del ozono, tanto troposférico como estratosférico, así como en el fenómeno de la lluvia ácida. En concentraciones altas produce daños a la salud y a las plantas y corroe tejidos y materiales diversos.

Las actividades humanas que los producen son, principalmente, las combustiones realizadas a altas temperaturas. Más de la mitad de los gases de este grupo emitidos proceden del transporte.

Óxido nitroso (N_2O)

En la troposfera es inerte y su vida media es de unos 170 años. Va desapareciendo en la estratosfera en reacciones fotoquímicas que pueden tener influencia en la destrucción de la capa de ozono. También tiene efecto invernadero.

Procede fundamentalmente de emisiones naturales (procesos microbiológicos en el suelo y en los océanos) y menos de actividades agrícolas y ganaderas (alrededor del 10% del total).

Otros

Algunos otros gases como el amoníaco (NH_3) son contaminantes primarios, pero normalmente sus bajos niveles de emisión hacen que no alcancen concentraciones dañinas. El

amoníaco que se emite a la atmósfera se origina casi exclusivamente en el sector agrícola y ganadero.

7. Compuestos orgánicos volátiles

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

a- Metano (CH₄)

Es el más abundante y más importante de los hidrocarburos atmosféricos.

Es un contaminante primario que se forma de manera natural en diversas reacciones anaeróbicas del metabolismo. El ganado, las reacciones de putrefacción y la digestión de las termitas forman 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 troposfera 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.

La gran mayoría del metano emitido a la atmósfera procede de cuatro fuentes, en proporciones muy similares: la agricultura y ganadería, el tratamiento de residuos, el tratamiento y distribución de combustibles fósiles y las emisiones naturales que tienen lugar, sobre todo, en las zonas húmedas.

b- Otros hidrocarburos

En la atmósfera están presentes muchos otros hidrocarburos, principalmente procedentes de fenómenos naturales, pero también originados por actividades humanas, sobre todo las relacionadas con la extracción, el refinado y el uso del petróleo y sus derivados. Sus efectos sobre la salud son variables. Algunos no parece que causen ningún daño, pero otros, en los lugares en los que están en concentraciones especialmente altas, afectan al sistema respiratorio y podrían causar cáncer.

Intervienen de forma importante en las reacciones que originan el "smog" fotoquímico.

Las emisiones de este tipo de compuestos proceden de procesos naturales que tienen lugar en los bosques (el 30%, aproximadamente), y del transporte por carretera (25%).

8. Partículas y aerosoles

Aerosoles primarios. Aerosoles secundarios.

En la atmósfera permanecen suspendidas sustancias muy distintas como partículas de polvo, polen, hollín (carbón), metales (plomo, cadmio), asbesto, sales, pequeñas gotas de ácido sulfúrico, dioxinas, pesticidas, etc. Se suele usar la palabra aerosol para referirse a los materiales muy pequeños, sólidos o líquidos. Partículas se suele llamar a los sólidos que forman parte del aerosol, mientras que se suele llamar polvo a la materia sólida de tamaño un poco mayor (de 20 micras o más). El polvo suele ser un problema de interés local, mientras que los aerosoles pueden ser transportados muy largas distancias.

Según su tamaño pueden permanecer suspendidas en la atmósfera desde uno o dos días, las de 10 micrómetros o más, hasta varios días o semanas, las más pequeñas.

Algunas de estas partículas son especialmente tóxicas para los humanos y, en la práctica, los principales riesgos para la salud humana por la contaminación del aire provienen de este tipo de polución, especialmente abundante en las ciudades.

a- Aerosoles primarios

Los aerosoles emitidos a la atmósfera directamente desde la superficie del planeta proceden principalmente, de los volcanes, la superficie oceánica, los incendios forestales, polvo del suelo, origen biológico (polen, hongos y bacterias) y actividades humanas.

b- Aerosoles secundarios

Los aerosoles secundarios se forman en la atmósfera por diversas reacciones químicas que afectan a gases, otros aerosoles, humedad, etc. Suelen crecer rápidamente a partir de un núcleo inicial.

Entre los aerosoles secundarios más abundantes están los iones sulfato alrededor de la mitad de los cuales tienen su origen en emisiones producidas por la actividad humana. Otro componente importante de la fracción de aerosoles secundarios son los iones nitrato.

La mayor parte de los aerosoles emitidos por la actividad humana se forman en el hemisferio Norte y como no se expanden por toda la atmósfera tan rápido como los gases, sobre todo porque su tiempo de permanencia medio en la atmósfera no suele ser mayor de tres días, tienden a permanecer cerca de sus lugares de producción.

Impacto sobre el clima

Los aerosoles pueden influir sobre el clima de una manera doble. Pueden producir calentamiento al absorber radiación o pueden provocar enfriamiento al reflejar parte de la radiación que incide en la atmósfera. Por este motivo, no está totalmente clara la influencia de los aerosoles en las distintas circunstancias atmosféricas. Probablemente contribuyen al calentamiento en las áreas urbanas y siempre contribuyen al enfriamiento cuando están en la alta atmósfera porque reflejan la radiación disminuyendo la que llega a la superficie.

9. Oxidantes

Ozono (O₃). Ozono estratosférico. Ozono troposférico

10. Calor

El calor producido por la actividad humana en algunas aglomeraciones urbanas llega a ser un elemento de cierta importancia en la atmósfera de estos lugares. Por esto se considera una forma de contaminación aunque no en el mismo sentido, lógicamente, que el ozono o el monóxido de carbono o cualquier otro de los contaminantes estudiados.

Su influencia puede ser importante en la génesis de los contaminantes secundarios.

Las combustiones domésticas y las industriales, seguidas del transporte y las centrales de energía son las principales fuentes de calor, aunque su importancia relativa varía mucho de unos lugares a otros. La falta de vegetación en las ciudades y el exceso de superficies pavimentadas, entre otros factores, agravan el problema. En Manhattan, por ejemplo, se han medido flujos de calor artificial del orden de 630 Wm⁻².

11. Ruido

Puede ser un factor a tener muy en cuenta en lugares concretos: junto a las autopistas, aeropuertos, ferrocarriles, industrias ruidosas; o en fenómenos urbanos: locales o actividades musicales, cortadoras, sirenas, etc.

Cuando una persona está sometida a un nivel alto de ruido durante un tiempo prolongado, sus oídos se dañan. Según algunos estudios, alrededor de un tercio de las disminuciones de la capacidad auditiva en los países desarrollados son debidas al exceso de ruido.

Para disminuir el ruido se usan diferentes medidas. En algunos trabajos se deben usar auriculares de protección especiales. En otros casos aíslan los motores y otras estructuras ruidosas de máquinas, electrodomésticos, vehículos, etc. para que no metan tanto ruido. En autopistas, fábricas, etc., se usan barreras que absorban el ruido.

12. Otros contaminantes

a- Contaminación electromagnética

Un tipo de contaminación física sobre el que cada vez se está hablando más es el electromagnético. Dispositivos eléctricos tan habituales como las líneas de alta tensión y algunos electrodomésticos originan campos electromagnéticos.

Experimentalmente se ha comprobado que el electromagnetismo altera el metabolismo celular, por lo que se supone que también podría dañar la salud humana (mayores riesgos de leucemia o cáncer cerebral, etc.), aunque esto no está comprobado. De todas formas las evidencias son lo suficientemente fuertes como para que sea un tema que se sigue investigando para conocer mejor el riesgo real que supone.

Procedencia de contaminación atmosférica

Con respecto a las fuentes artificiales se ha realizado una clasificación en cinco grupos principales:

- 1) Combustión fija
 - Energía eléctrica
 - Generación de Calor
- 2) Transporte
- 3) Industria
- 4) Eliminación de residuos sólidos
- 5) Otros

En los países desarrollados las dos fuentes principales de contaminación son los vehículos con motor y la industria.

a- Vehículos

Los automóviles y los camiones liberan grandes cantidades de óxidos de nitrógeno, óxidos de carbono, hidrocarburos y partículas al quemar la gasolina y el gasóleo.

b- Centrales térmicas e industria

Las centrales térmicas y otras industrias emiten la mayoría de las partículas y de los óxidos de azufre, además de cantidades importantes de los otros contaminantes. Los cuatro tipos de industria más contaminante, hablando en general, son la petrolera, química, metalurgia y siderurgia y la papelera. En definitiva la combustión de combustibles fósiles, petróleo y carbón, es responsable de la mayoría de las emisiones y la industria química es la principal emisora de productos especiales, algunos muy dañinos para la salud.

Otra fuente importante de contaminación atmosférica suele ser la destrucción de los residuos por combustión.

13. Contaminación interior

Desde el punto de vista de la salud humana un tipo de contaminación a la que cada vez se le está dando más importancia es a la del interior de los edificios, viviendas, industrias, oficinas, etc. Los contaminantes más frecuentes en este ambiente son el radón (gas radiactivo de origen natural), el humo de los cigarrillos, el monóxido de carbono, formaldehído, asbestos, etc.

Cuando respiramos el aire en el interior de un automóvil, en casa, en la escuela o en la oficina, la cantidad de contaminantes que entra a nuestros pulmones puede ser mayor que en muchos lugares al aire libre. En un atasco de tráfico, por ejemplo, la concentración de algunos contaminantes como el monóxido de carbono, el benceno y las partículas que salen por los tubos de escape, puede ser de cinco a diez veces mayor en el interior del automóvil que fuera.

Los efectos sobre la salud de esta contaminación interior son especialmente importantes porque pasamos del 70 al 90% de nuestro tiempo en lugares cerrados. Los más afectados son los niños, las personas mayores y las que sufren enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

Los contaminantes más frecuentes en interiores son el humo del tabaco, el gas radiactivo radón 222, el asbesto, el formaldehído, el monóxido de carbono, el dióxido de nitrógeno, el ozono, etc.

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.

El radón 222 es un gas radiactivo incoloro, inodoro e insípido que se forma de manera natural en las rocas del suelo, especialmente en los granitos y esquistos. Puede penetrar desde el suelo y acumularse en el interior de los edificios poco ventilados, alcanzando concentraciones peligrosas. El que sale a la atmósfera se diluye con rapidez y no llega a niveles de riesgo. Estudios serios demuestran que la radiactividad emitida por este gas cuando entra en los pulmones es responsable de entre el 10 y el 15% de los cánceres de pulmón. Su efecto se suma al del tabaco, porque las moléculas del gas se adhieren a las partículas del humo y se depositan en la pared de los alvéolos, sometiendo a sus células a intensas dosis de radiactividad. El efecto de este contaminante hay que tenerlo en cuenta especialmente en los edificios construidos en suelos que por sus características geológicas son productores de altas cantidades de radón.

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, especialmente entre las personas que trabajan con este material, instalándolo, fabricándolo, etc. Sin embargo, si el asbesto está formando parte de los elementos de construcción de tal forma que no suelte partículas o fibras al aire, su uso no plantea problemas especiales, según muchos expertos.

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

En los países subdesarrollados la principal contaminación en el aire del interior de las casas procede de las combustiones en cocinas mal diseñadas y ventiladas. Las partículas que se liberan al quemar madera, estiércol u otros combustibles son responsables de la gran incidencia de enfermedades respiratorias en estos países.

14. Contaminación sonora

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 (banda ruidosa de rock o volumen alto en los auriculares) pueden dañar a las células sensibles al sonido del oído interno provocando pérdidas de audición. La Tabla 6 indica algunos niveles de ruido producido por diferentes actividades.

Se ha realizado el mapa de ruidos, señalan que el nivel de equivalente, durante el día, está en valores que varían de los 62 a los 73 dB.

Reducción de la contaminación sonora

La contaminación sonora se puede reducir, obviamente, produciendo menos ruido. Esto se puede conseguir disminuyendo el uso de sirenas en las calles, controlando el ruido de motocicletas, coches, maquinaria, etc. En muchos casos, aunque tenemos la tecnología para reducir las emisiones de ruido, no se usan totalmente porque los usuarios piensan que una máquina o vehículo que produce más ruido es más poderosa y las casas comerciales prefieren mantener el ruido, para vender más.

La instalación de pantallas o sistemas de protección entre el foco de ruido y los oyentes son otra forma de paliar este tipo de contaminación. Así, por ejemplo, cada vez es más frecuente la instalación de pantallas a los lados de las autopistas o carreteras, o el recubrimiento con materiales aislantes en las máquinas o lugares ruidosos.

Tabla 7. Ejemplo de niveles de ruido.

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 un 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

IV. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Efectos sobre las condiciones o propiedades de la atmósfera.

Los principales efectos son:

1. Variación de la transmitancia en la zona de la luz visible, ultravioleta e infrarroja.
2. Formación de neblinas.
3. Alteraciones climáticas.

La variación de la transmitancia en la zona visible provoca una reducción de visibilidad, y es uno de los elementos que más fácilmente son detectados por el público. El fenómeno está provocado por la absorción y dispersión de la luz.

La absorción es consecuencia de la presencia de ciertos gases o partículas, y suele provocar variaciones climáticas.

La dispersión es causada principalmente por partículas que causan disminución de visibilidad, o sea disminución de la distancia a la cual se pueden ver los objetos. Este problema es motivado básicamente por la existencia de cambios en el contraste.

Las partículas causan modificaciones de color, por ser diferente la interacción que producen para las diferentes longitudes de onda (el clásico rojo de una puesta de sol).

La radiación ultravioleta es absorbida parcialmente, disminuyendo la cantidad que llega a la superficie de la tierra.

Las radiaciones infrarrojas son absorbidas y luego re-irradiadas en toda direcciones, con la consiguiente dispersión y calentamiento locales.

Se ha observado que se produce niebla con mucha mayor frecuencia en las ciudades que en el campo, a pesar de que por las condiciones de temperatura y humedad el proceso debería ser inverso. Esto es debido a la absorción de SO₃ por parte de las pequeñas gotas de agua, lo cual permite que se establezca la niebla. En general, se ha detectado la existencia de alteraciones climáticas que llegan a modificaciones en el régimen de lluvia y en los vientos.

Efectos sobre la salud humana:

El efecto más común es la irritación de la vista y de las vías respiratorias, si bien para que estos efectos se presenten, deben encontrarse cantidades relativamente importantes de contaminantes. Estadísticamente, se ha tratado de determinar la influencia de la contaminación ambiental y los valores umbral a partir de los cuales puede detectarse una tendencia al deterioro.

Los diferentes autores no coinciden en los valores obtenidos. En determinadas circunstancias se han producido situaciones muy especiales, en las cuales se produjeron concentraciones de contaminantes muy altas y por períodos que llegaron a varios días. Estadísticamente, se puede establecer una relación entre dichas situaciones de contaminación y casos de enfermedades de vías respiratorias e incluso de disfunciones atribuibles a la contaminación al igual que un incremento en problemas de tipo cardíaco.

Efecto sobre los animales:

Se han realizado estudios en laboratorio tendientes a determinar los efectos de diferentes contaminantes sobre animales pequeños.

Estos estudios resultan de interés para conocer la acción de los contaminantes aislados y la interacción de los mismos cuando se presentan en forma conjunta, y la comparación con lotes testigo a los efectos de una real evaluación.

La susceptibilidad varía con las diferentes especies para los diversos contaminantes.

Se han utilizado ratones, conejos, monos y cobayos para investigar la acción de los derivados del azufre, los oxidantes, el fluor, compuestos del nitrógeno, combinaciones de hidrocarburos y sílice.

Efectos sobre la vegetación:

Existen una serie de contaminaciones de acción netamente tóxica para la vegetación, variando la susceptibilidad a los mismos según las especies. En general se ha determinado la alta actividad del smog fotoquímico, del cloro, el anhídrido sulfuroso y compuestos orgánicos oxigenados. Normalmente los contaminantes son absorbidos en el proceso de respiración de la planta y actúan en forma directa como inhibidores de fotosíntesis.

Los daños en las plantas se suelen notar en las hojas, presentándose en forma de manchas de distinta coloración, quemaduras en el borde de la hoja, modificaciones en los estados de turgencia, disminución de rendimientos e incluso destrucción de los cultivos.

Efectos sobre los materiales:

El efecto se produce en dos formas principales:

- a. Depósito de materiales extraños.
- b. Ataque químico.

Es clásico el depósito de humos y partículas en edificios y estructuras. En las grandes ciudades se ha comprobado el ataque del caucho por parte de los contaminantes atmosféricos. En Roma se ha constatado el ataque que sufre el mármol por ciertos elementos ácidos que contaminan el ambiente.

Dispersión

Los contaminantes emitidos por una fuente tienden a difundirse por tanto se dispersan.

A los efectos de un estudio práctico de la dispersión, en una zona determinada, interesa conocer los factores topográficos y meteorológicos y las características de la emisión.

Los factores topográficos influyen, por cuanto están modificando localmente el movimiento de la masa de aire y la distribución de temperaturas, por cambios en la insolación y consiguientemente modificación de los gradientes.

Cuando un emisor se encuentra próximo a un obstáculo notable y el viento se dirige desde la zona del obstáculo hacia el emisor se producen turbulencias en el penacho de humo que se aproxima más rápidamente al suelo. Si el foco se encuentra en un valle, la difusión se dificulta en relación inversa a la distancia, del foco hasta los montes que rodean el valle.

Los factores topográficos crean corrientes locales de aire, las que son características para cada zona. Así en la zona marítima se producen vientos del mar hacia la tierra en los momentos de mayor insolación, invirtiéndose el proceso durante la noche.

En la zona límite de desiertos se produce durante el día una corriente de aire, hacia el desierto, la que se invierte en la noche. En nuestra zona tienen influencia los vientos catabáticos y los vientos de valle. Estos vientos son totalmente locales y su registro o no por estaciones meteorológicas depende de la ubicación de dichas estaciones. Por ello, es importante para la localización de una nueva planta industrial el estudio de las condiciones in situ.

Con respecto a la influencia y condiciones de los factores meteorológicos que hacen a la dispersión, se debe indicar que los mismos interesan en cuanto influyen sobre las emisiones y el hábitat humano, y por tanto el estudio se limita generalmente a los primeros 500 m de altura. Es sumamente importante la variación de temperaturas que se produce con la altura en la atmósfera, por cuanto es uno de los factores que más influyen en la fuerza ascensional de un penacho. Se han realizado estudios de esta variación y se ha trazado el perfil de temperaturas normales promedio.

De acuerdo a estos estudios, la disminución de temperatura para la Tropósfera es aproximadamente de 6 a 7°C por Km de altura. En las capas inferiores (primeros 500 m), la variación es del orden de 1°C cada 100 m.

Sin embargo, en días claros la temperatura decrece rápidamente en función de la altura durante el día, pero en la noche, o en condiciones especiales, puede llegar a producirse el fenómeno de que la temperatura aumente a medida que aumenta la altura.

Esta circunstancia se conoce como inversión y todo el espesor de la atmósfera en la cual se presenta el fenómeno se llama capa de inversión. Es muy importante la relación existente entre la variación real de la temperatura en función de la altura con la variación teórica de dichos parámetros.

Por deducción teórica, se obtiene el llamado gradiente adiabático seco, el cual es tomado como perfil de referencia para los diferentes estudios. Partiendo del primer principio de la termodinámica, y combinándolo con la ecuación de los gases perfectos, se llega a demostrar que:

$$\frac{dT}{dh} = \frac{g}{C_p}$$

Siendo g la aceleración de la gravedad y C_p el calor específico del aire a presión constante. El segundo término de la ecuación es un valor constante y se denomina "gradiente adiabático seco", representándose con el símbolo:

$$\Gamma = [g/C_p] = 0,00976 \text{ }^\circ\text{C/m}$$

Debe recordarse que la presión que existe en un determinado punto de la atmósfera es función de la masa de aire que se encuentra sobre ese punto, y por tanto al aumentar la altura disminuye la presión.

Al ascender una masa de aire, su presión se mantiene en equilibrio con la presión del entorno, y por tanto disminuye en igual forma que ésta.

Toda descompresión de un gas provoca su enfriamiento en condiciones adiabáticas, y por tanto disminuye la temperatura.

Si llamamos T a la temperatura de una masa de aire en estudio y T' a la temperatura del aire que la rodea a diferentes alturas, se puede demostrar que:

$$dT/dh = -\Gamma T/T'$$

(presiones en equilibrio) y por ende la masa de aire en estudio, al ascender, se enfría más o menos rápidamente que el adiabático, según que su temperatura sea mayor o menor que el aire circundante.

Si llamamos Λ al gradiente real de temperatura en la atmósfera, se cumplirá en ella que:

$$T'h = T'o - \Lambda h$$

Combinando esta ecuación con la anterior e integrando se obtiene:

$$T_h = T_o \frac{(T'o - \Lambda h)^{\Gamma/\Lambda}}{T_o}$$

Ecuación que da la variación real que sufre al ascender una masa de aire introducida al nivel del suelo a una temperatura diferente a la del entorno.

La fuerza ascensional a la que está sometida una masa de aire introducida en la atmósfera es mayor o menor de acuerdo a la temperatura de emisión y al ciclo de enfriamiento que dicha masa siga al ascender, ya que la densidad del medio será función de la temperatura.

El ciclo de enfriamiento está determinado por las condiciones reales del perfil de temperaturas en la atmósfera.

- Se denomina atmósfera inestable aquella en la cual las fuerzas ascensionales favorecen el desplazamiento vertical.
- Se denomina atmósfera estable aquella que no muestra mucho mezclado o movimiento vertical.

De aquí resulta que los contaminantes emitidos cerca de la superficie del suelo tienden a permanecer ahí.

El hecho de que haya mucho mezclado a una escala significativa en la baja atmósfera, depende en primer lugar de:

1. el gradiente de temperatura y
2. la turbulencia mecánica debido a la acción cortante del viento.

La posibilidad de que ocurra mezclado térmico se puede determinar por comparación del gradiente actual de temperatura (ambiental) o tasa de cambio con la tasa de cambio adiabática.

V. CORRECCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN. NORMAS Y LÍMITES

Es problema generalizado en el mundo moderno la existencia en determinados lugares de concentraciones de contaminantes que pueden considerarse como elevados y de posibles riesgos para la salud del hombre, o que creen situaciones que afecten el bienestar de la población o el uso y goce de las propiedades. Ello ha motivado la necesidad de corrección de dichas situaciones. El objetivo perseguido es obtener una serie de valores de contaminación que estén por debajo de los niveles que se consideran molestos o dañinos (standard de calidad). El problema es complejo por cuanto las fuentes son múltiples, y para la corrección de los mismos debe tenerse en cuenta, además de los factores técnicos, las implicancias políticas, económicas e incluso estratégicas. Todo ello implica un balance de factores que es básicamente de tipo político, y muchas veces se admite la prolongación de una situación o se dan normas de calidad de aire primarias como paso intermedio. Incluso no existen hasta el momento, datos suficientes como para establecer en forma precisa la relación existente entre los niveles de contaminación de diversos contaminantes y los efectos sobre la salud. En general, todos los Standard de calidad de aire establecido en el mundo se limitan a la formulación de valores límites para unos pocos contaminantes.

Se suele distinguir entre normas primarias y normas secundarias. Las normas primarias son objetivos mínimos a cubrir para proteger la salud de la población con un razonable margen de seguridad. Las normas secundarias implican la máxima protección de animales, plantas, cosechas, bienes, etc.

En la formulación de planes de lucha contra la contaminación del aire, se suele hacer una división en estrategias inmediatas y mediatas. La estrategia inmediata o a corto plazo consiste en la adopción de una serie de medidas drásticas para combatir la posibilidad de episodios graves de contaminación predecibles por la presencia de factores meteorológicos adversos. Dentro de este tipo de medidas se considera el cierre y/o disminución de actividad en industrias o zonas determinadas por plazos de horas y a veces de días.

Se incluye la prohibición de incineración, limitación de circulación de vehículos, el cambio de calidad de combustibles en los grandes usuarios y/o el expendio a vehículos.

La estrategia mediata o de largo plazo implica la realización de todo un aparato legislativo que permita una corrección gradual y armónica de los diferentes factores que influyen en la contaminación.

Generalmente, para la confección de este esquema se consideran factores urbanísticos y de planificación, re-estudios de procesos, de vías de comunicación, de limitación en la cantidad de materiales emitidos (Standard de emisión), desalentar el uso de ciertos combustibles, estudiar nuevos procesos, o nuevos vehículos no contaminantes, etc.

En nuestro país, a niveles provinciales, Se han encarado planes de ordenación territorial definiendo zonas destinadas a diferentes actividades con reubicación de actividades, como forma de luchar contra la contaminación. Sobre esta táctica discrepan algunos autores, por cuanto tiene un costo económico muy elevado e implicancias sociales sobre los grupos que viven en las zonas consideradas.

Se considera más recomendable un plan combinado y flexible, en el cual se adopta un standard de calidad de aire y buscar una combinación de estrategias que permita asegurar el mantenimiento de dichos estándares con un costo económico y social mínimo.

En nuestro país, para la jurisdicción federal y las provincias que adhieran al mismo, rige el Decreto Ley 20284/73. En el mismo se fijan normas de calidad de aire y situaciones de alerta-alarma y emergencia, en el plan de prevención de situaciones críticas.

Igualmente, fija los niveles máximos de emisión para las fuentes móviles y deja a las autoridades zonales la responsabilidad de fijar los niveles máximos de emisión de los distintos

tipos de emisiones de fuentes fijas; crea comisiones interjurisdiccionales cuando el problema generado en un área territorial afecte a otra.

Como se puede apreciar, la ley nacional no fija un criterio rígido en cuanto a las emisiones de fuentes fijas, e indica que las mismas se deberán corregir cuando se sobrepasen los valores de la norma de calidad de aire establecida.

Otra norma legislativa establece la prohibición del asentamiento de nuevas industrias hasta ciertas distancias del centro de la Capital Federal.

En la Provincia de Buenos Aires, según Decreto 7488/72, la reglamentación además de fijar la norma de calidad de aire establece limitaciones de emisión mediante la aplicación de un modelo matemático que relaciona el nivel de contaminación producido con las características de la emisión y los factores meteorológicos. La provincia de Buenos Aires ha zonificado en una programación que cubre toda la provincia y permite la instalación de industrias en diferentes zonas de la provincia, de acuerdo a las características de cada industria en particular.

En el ámbito de la Capital Federal rige una ordenanza del 30 de diciembre de 1976 que establece normas de control para la contaminación ambiental en la ciudad de Buenos Aires, limitando las cantidades de emisión para diferentes fuentes móviles, y prohíbe el uso de incineradores domiciliarios y comerciales y reglamenta la existencia de incineradores industriales, patológicos y municipales.

Prohíbe la quema a cielo abierto, reglamenta las chimeneas y exige su habilitación y el "permiso de descarga", fijando límites de emisión para material particulado y otros contaminantes, incluyendo olores.

En nuestra provincia, las diferentes comunas han realizado zonificaciones en las cuáles se especifica las áreas destinadas a zonas residenciales, zonas recreativas, zonas veraniegas, zonas comerciales, zonas administrativas, zonas industriales, etc., prohibiendo la radicación de las diferentes actividades fuera de su zona específica.

A nivel provincial, por ordenanza de Dirección de Municipalidades, se prohíbe la ampliación o modificación de toda industria que no esté ubicada en la zona correspondiente.

VI. EQUIPOS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES GASEOSOS

El proceso de eliminación de los diferentes gases que forman parte de una emisión se realiza por absorción, por adsorción y por reacción química.

1º Equipos de absorción:

Los equipos están constituidos por elementos que permiten una gran superficie de contacto entre el gas y el líquido, a los efectos de conseguir una buena transferencia. Generalmente, se dispone en forma de columnas con diferentes rellenos, los cuales son función de la superficie necesaria y de la pérdida de carga que se admite en la corriente gaseosa. El líquido absorbente se selecciona a los efectos de obtener rendimientos de absorción razonable.

2º Equipos de Adsorción:

En este caso se produce un intercambio sólido-gas, por lo tanto debe conseguirse una gran superficie de contacto entre las dos fases. Por ello los medios adsorbentes tienen una elevada porosidad.

Los materiales más utilizados son carbón activo, alúmina, bauxita, resinas, gel de sílice, etc. Los posibles adsorbentes pueden clasificarse en tres grandes grupos, de acuerdo a su forma de actuar:

- a) Compuestos polares en los que la adsorción se realiza por combinaciones de tipo químico (bauxita, resina).

- b) Sólidos o compuestos no polares, en los que la adsorción es de tipo físico (carbón).
- c) Reactivos químicos (cal).

3º Reacción química:

- A. Combustión: La combustión se realiza para obtener la eliminación de algunos contaminantes combustibles. Se utilizan mecheros de quema, hornos y reactores catalíticos.
- B. Reacciones Específicas: Existe una serie de reacciones químicas específicas de combustiones especiales para diferentes contaminantes, las que se utilizan de acuerdo a las necesidades. Un ejemplo clásico es el desplazamiento de la reacción del NO por controles de la temperatura.

1. Eliminación del SO₂

Desulfuración del Gas de Combustión. Las tecnologías para limitar la emisión de azufre en los gases de combustión (o tecnologías de desulfuración de los gases de combustión) son de dos tipos:

1. "Sistema de Residuos Comercializables", en los cuales el proceso de desulfuración produce productos potencialmente valiosos, tales como el azufre elemental, el ácido sulfúrico, o el sulfato de amonio
2. "Sistema de Residuos Desechables", en el cual el contenido de azufre es capturado en un flujo de residuos que deben ser desechados.

La manera más sencilla para eliminar el SO₂ en los efluentes, es sustituyendo el combustible, o procediendo a la desulfuración del mismo.

Para la eliminación de este contaminante en el mismo gas efluente, se siguen diferentes métodos de acuerdo a la concentración del SO₂. Los principales son:

- Absorción en agua fría y posterior desorción por calentamiento.
- Adsorción en agente alcalino. Existe una serie de adsorbentes que permiten su recuperación y que separan el SO₂ de los gases. Entre ellos podemos citar el óxido de magnesio y los carbonatos metálicos. No recuperables son la caliza, la dolomita.
- Aditivo en la combustión. En este caso el reactivo se introduce en el horno y el producto sulfatado queda detenido con las cenizas o es captado como partícula en los gases.
- Catálisis. El SO₂ es oxidado a SO₃ y recuperado en forma de ácido sulfúrico.

Desulfuración del Gas de Combustión

a) Sistemas de Residuos Comercializables

Los sistemas de desulfuración con residuos Comercializables típicamente implican grandes inversiones de capital, pero pueden ser más económicos en el ciclo de vida del sistema.

Ventajas

- Se genera un producto que puede ser valorizado en el mercado
- No pago de derechos por disposición final de los residuos o indemnizaciones por causar daños a terceros.
- Menor daño potencial sobre el medio ambiente (menor necesidad de extraer el azufre)

Desventajas

- Alta inversión de capital

- Generalmente no aplicable a pequeñas descargas de SO_x relacionadas con el proceso
- Pocas aplicaciones comprobadas en la industria

Un proceso que recupera el SO₂, reutilizable es el de la dimetilaminilina (DMA), como así también con las aminas: Monoetanol amina (MEA) y Dietanol amina (DEA) con proceso de recuperación se muestra en la Figura 6.

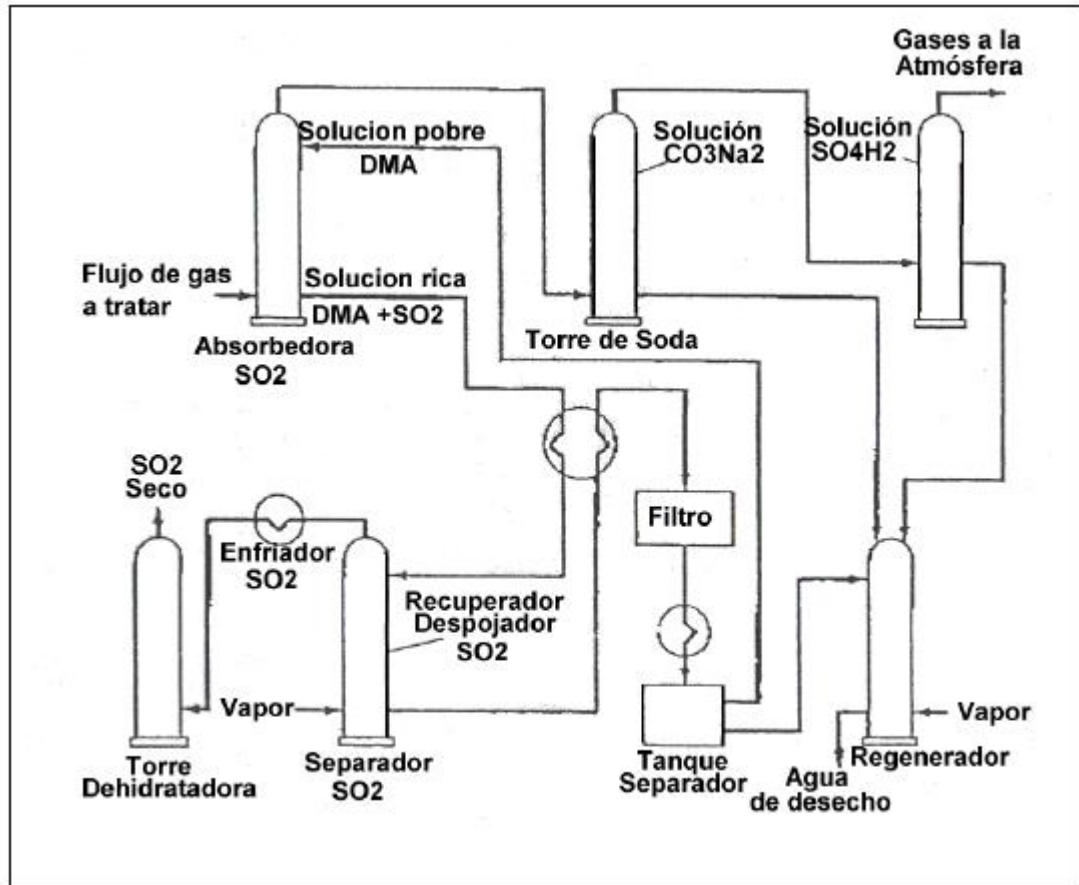


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de absorción y recuperación de SO₂

b) Sistemas de Residuos Desechables

En su mayor parte, la industria de procesos químicos utiliza sistemas de Desulfuración de Gas de Combustión de tipo "residuos desechables". Los más conocidos son los siguientes:

- Lavado húmedo
- Limpieza a seco

Una gran desventaja de tales sistemas de residuos desechables es que generan un flujo de residuos que deben eliminarse.

Lavadores húmedos

El principio básico del funcionamiento de los lavadores húmedos es la absorción de SO_x en una fase líquida absorbente:

- Los procesos de absorción consisten en transferencia de masas reactivas:
- Transferencia de masa de SO_x a la fase líquida
- Reacción química de SO_x en el reactivo líquido (usualmente soda cáustica)
- Una consideración básica de diseño es proveer suficiente contenido gas- líquido

Se genera un vapor de líquido residual conteniendo el azufre proveniente del gas de combustión.

Los lavadores húmedos utilizan un reactivo cáustico líquido en forma acuosa o de pasta líquida para absorber el SO_x. Un sistema típico utiliza cal o piedra caliza húmeda como agente lavador.

Otro absorbente común es el sulfato de sodio. A veces también se usa agua de mar como absorbente debido a su alcalinidad intrínseca.

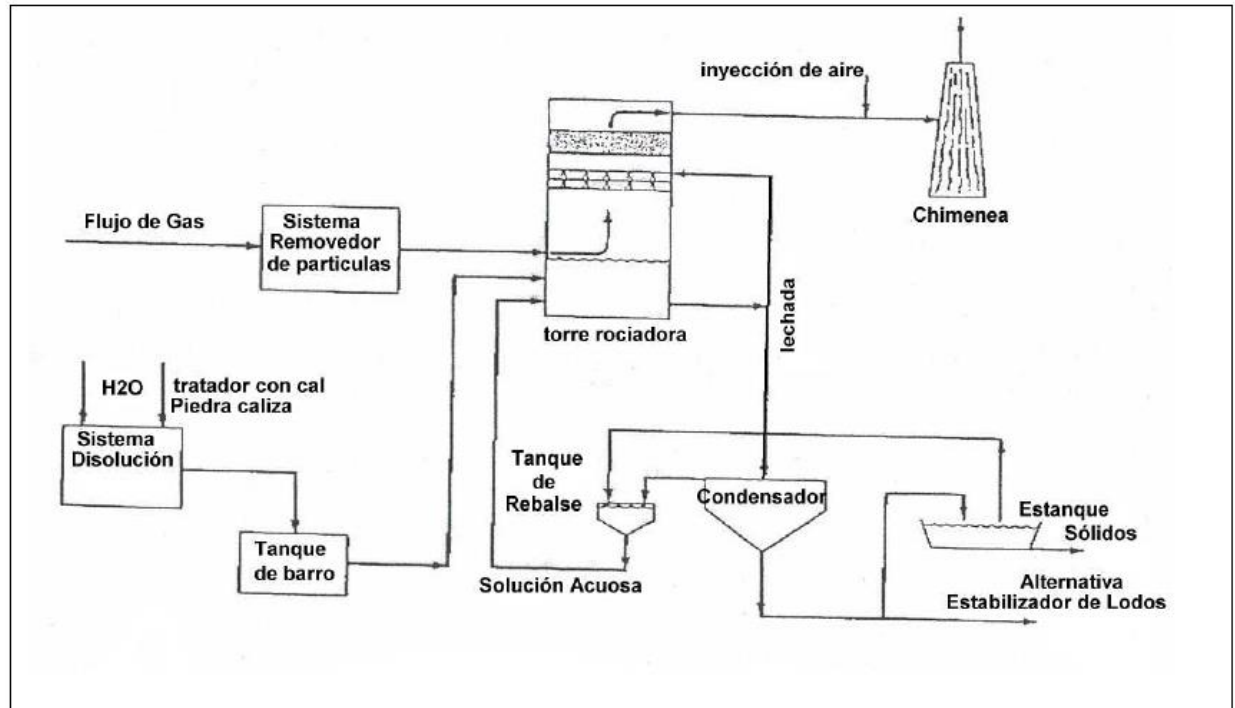


Figura 4. Sistema de lavado de gases

La ruta sodio-álcalis genera desechos líquidos que contienen sulfito de sodio y sulfatos de sodio. Este desecho puede ser tratado en una planta de tratamiento de agua residual o desecharse mediante la inyección en un pozo profundo, etc.

Los álcalis de sodio son más reactivos que los álcalis de calcio. Por lo tanto, la eliminación del SO_x mediante este método es más efectiva.

Varias clases de lavadores húmedos de SO_x están disponibles en el mercado:

- Lavadores de Rocío
- Lavadores de deflectores
- Lavadores de Placas
- Lavadores de lecho compactos

Estos lavadores difieren ampliamente en su operación mecánica, eficiencia en la captación de SO_x, y remoción de partículas.

2. Eliminación del NO_x

Se consigue disminución en las emisiones de los óxido de nitrógeno mediante la utilización de combustibles que no contengan nitrógeno orgánico.

Igualmente, se mejoran las condiciones con una correcta graduación de la relación aire-combustible, diseño de la cámara, condiciones de mezcla del carburante/combustible, temperatura de combustión y ciclo térmico de los gases.

La eliminación de los óxidos de nitrógeno en la misma emisión es compleja, por cuanto el NO, que es el principal óxido presente, es poco reactivo y se presentan interferencias por la presencia conjunta de agua, anhídrido carbónico y anhídrido sulfuroso.

Teóricamente, se puede realizar una reducción catalítica a N_2 , y esta reacción termodinámicamente se ve favorecida en condiciones de bajas temperaturas; no obstante ello, aún no se encuentra un catalizador industrial eficiente. Se ha trabajado utilizando CO, H_2 e hidrocarburos como reductores.

Se ha realizado reducción selectiva con la utilización de NH_3 , pero en general los métodos presentan problemas de puesta a punto a nivel industrial por las muy bajas concentraciones de NO existentes en las emisiones, y la presencia de sustancias que inhiben a los catalizadores.

Se ha trabajado con absorción en soluciones alcalinas o ácidas. En estas condiciones debe producirse una oxidación parcial del NO, por cuanto el óxido que presenta mejor absorción es el N_2O_3 .

3. Separadores de partículas

Existen procedimientos clásicos para la separación de partículas en las emisiones, y la utilización de uno u otro método depende del tamaño de las partículas, del volumen del efluente, de la concentración de las partículas, del rendimiento requerido (o el nivel de emisión permitido) y del costo de instalación y operativo.

El gráfico indica los principales tamaños de partículas que se producen en diferentes fuentes.

Los principales equipos utilizados para el control son:

A) Cámaras de Sedimentación: Consisten en un recipiente a través del cual pasa la corriente de aire produciéndose una disminución de velocidad de forma tal que las partículas pierdan sustentación y sedimenten. En determinados casos se suelen realizar 1 ó 2 cambios de dirección en la corriente del gas para favorecer la separación. Dadas las limitaciones de espacio se utilizan para separar partículas gruesas y generalmente combinadas con otro sistema de separación. El tamaño de las partículas colectadas se puede calcular por la ley de Stokes. El rendimiento de la cámara es función de la superficie de la misma y de la velocidad y caudal del gas.

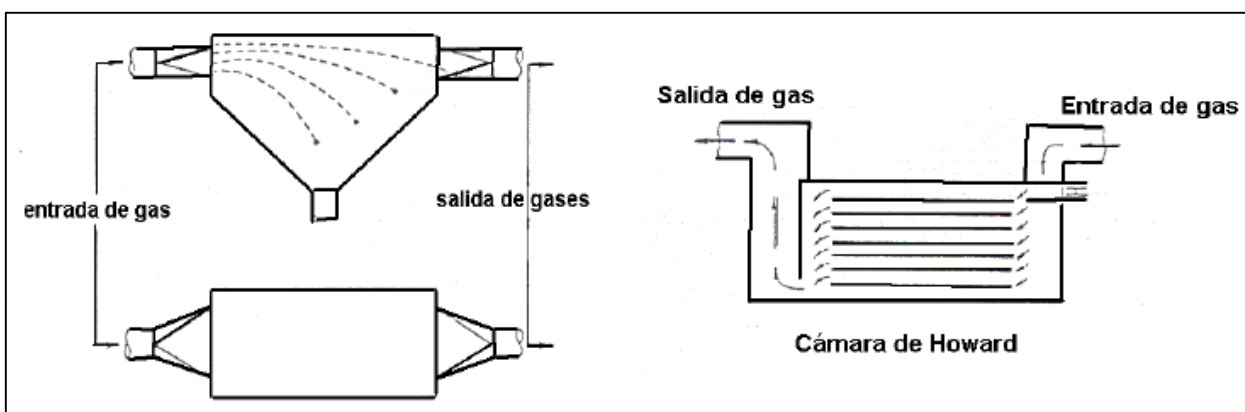


Figura 5. Esquema de un separador gravitatorio

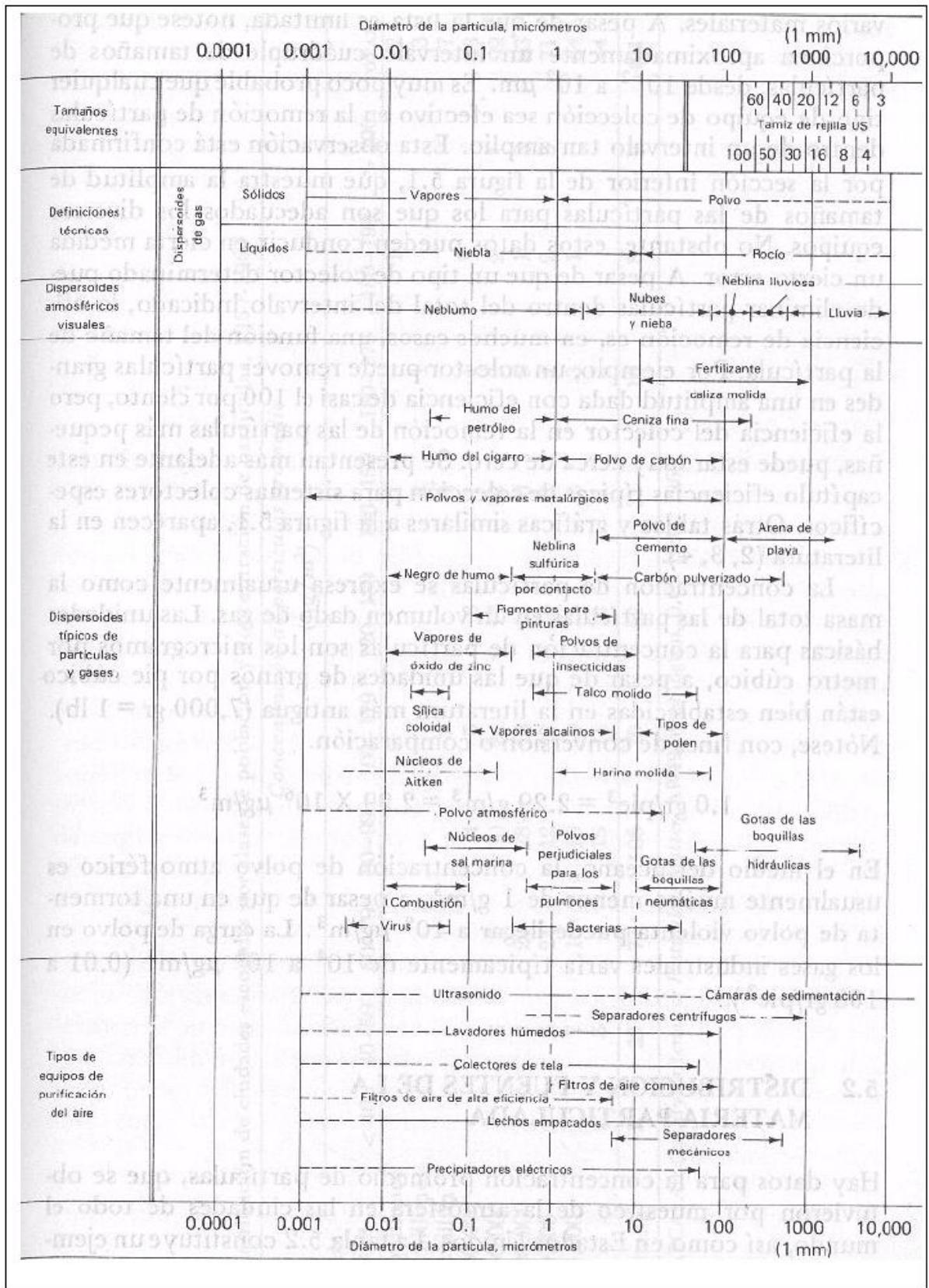


Figura 6. Tipos de equipos de purificación del aire s/ tamaño de partículas

B) Separadores inerciales: El principio de funcionamiento de estos equipos se basa en la inercia de las partículas, las cuales tienden a seguir el movimiento que poseían, al producirse un cambio de dirección, produciéndose de esta manera un desplazamiento de la partícula hacia los bordes del vector y la consiguiente pérdida de velocidad y choque contra las paredes (Fig. 7).

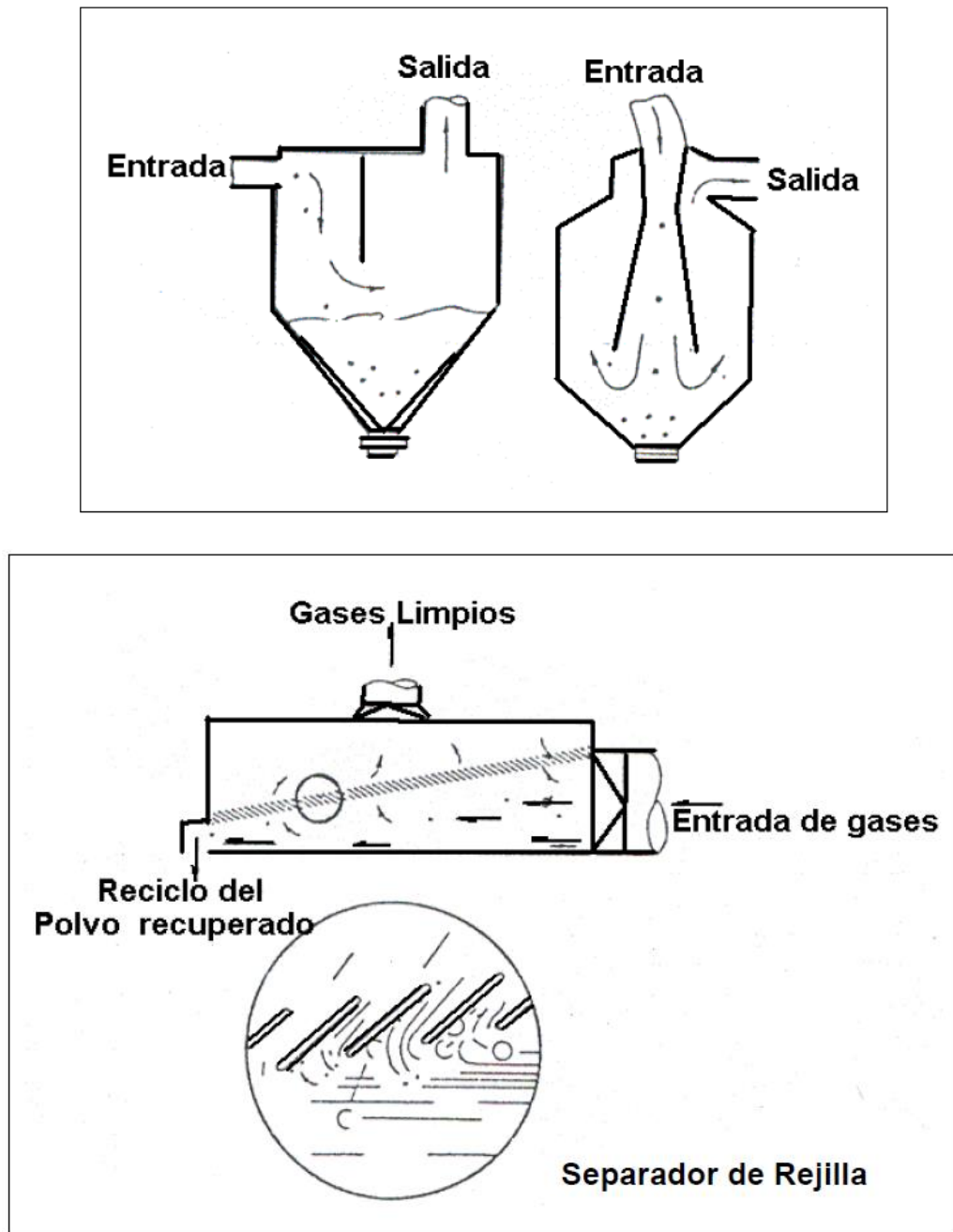


Figura 7. Separadores inerciales

C) Separadores centrífugos: En este tipo de separadores el gas vector se hace entrar tangencialmente en un cilindro y sigue una trayectoria en forma de hélice combinada que imprime a las partículas una elevada fuerza centrífuga que provoca un desplazamiento hacia las paredes, y la consiguiente pérdida de velocidad y deposición (Fig. 8).

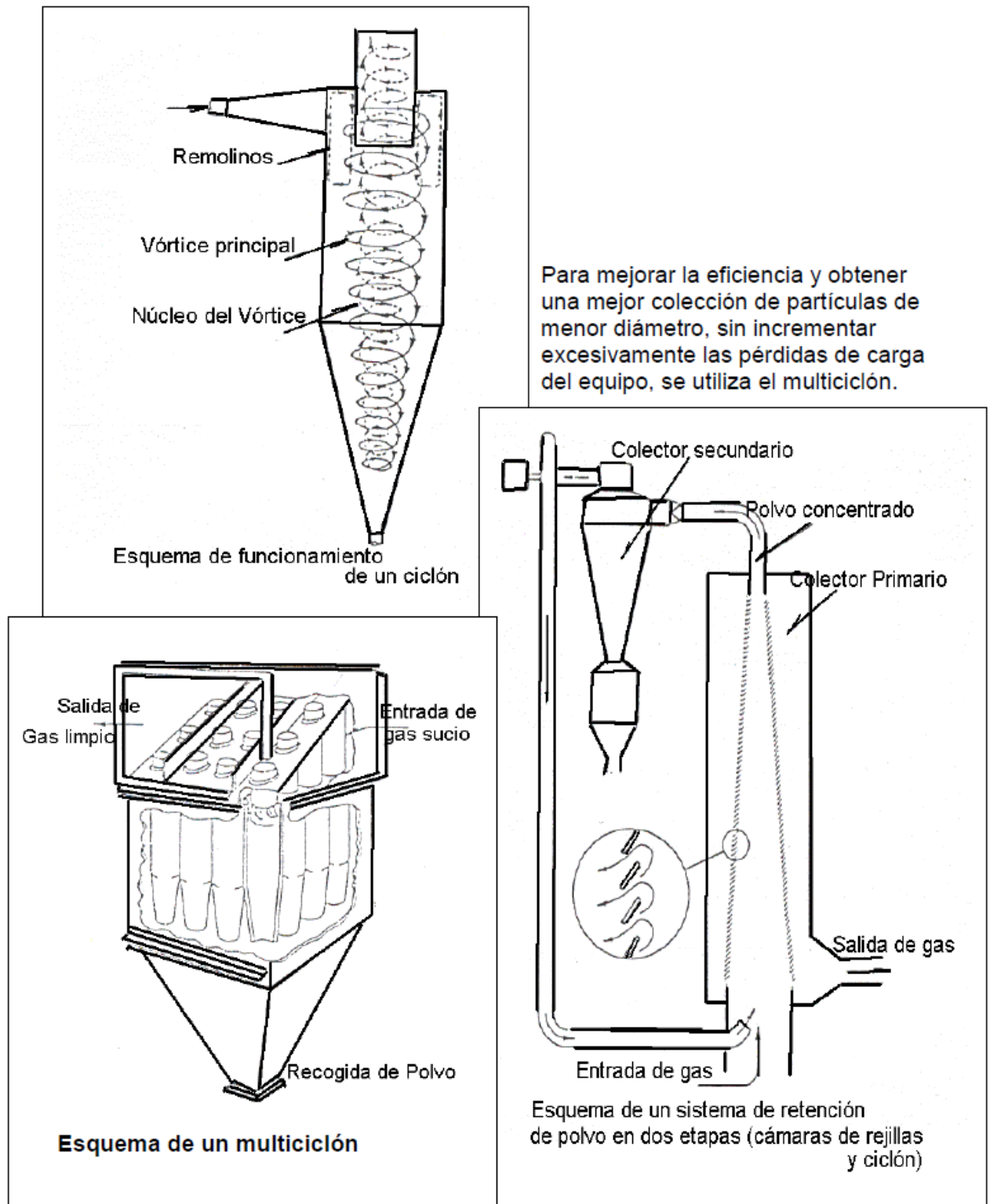
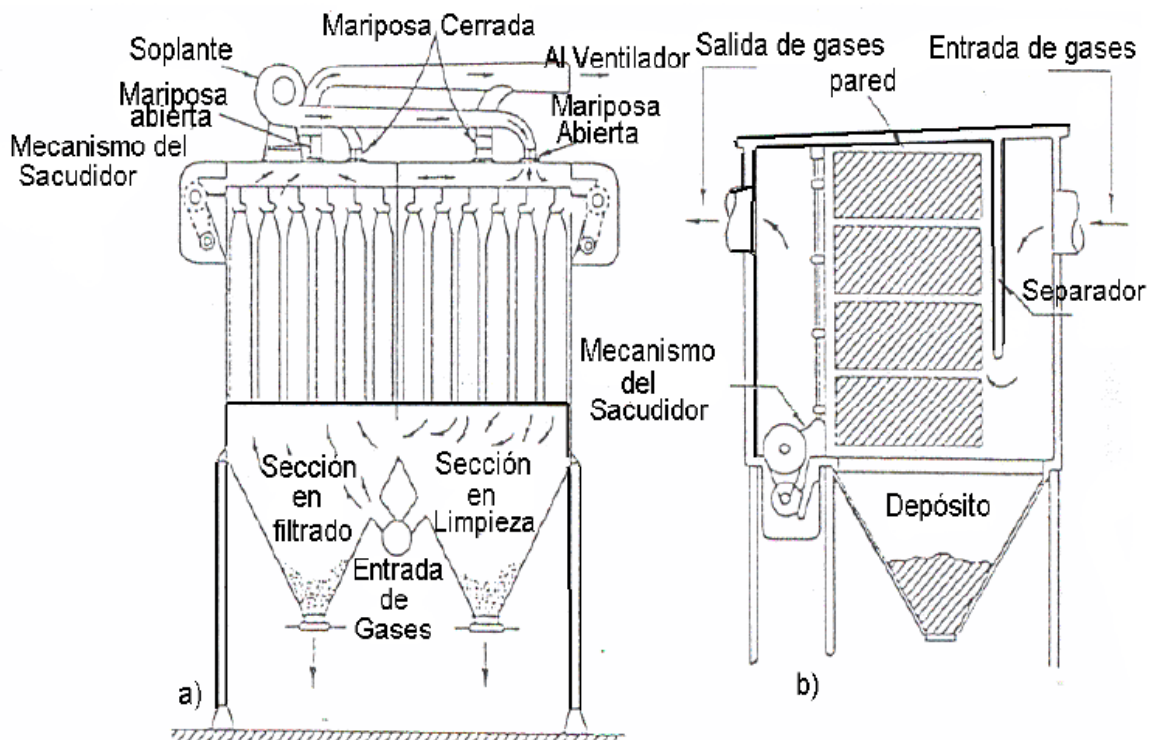


Figura 8. Separadores centrífugos

D) Separadores de capa porosa: Filtros manga. En estos separadores la retención de las partículas es realizada por una capa porosa de espesor variable. Se adoptan diferentes disposiciones del material poroso a los efectos de obtener máximas superficies con mínimos volúmenes. Como material filtrante se utilizan telas de diferentes materiales e incluso papel. El principio de la separación se basa en efectos de tamizado efectos de impacto, coagulación y retención electrostática (Fig. 8).



Montajes típicos de filtros de tela

Se suele realizar disposiciones que por Medios mecánicos, aire comprimido o Inversión de corriente, permiten la limpieza de las telas.

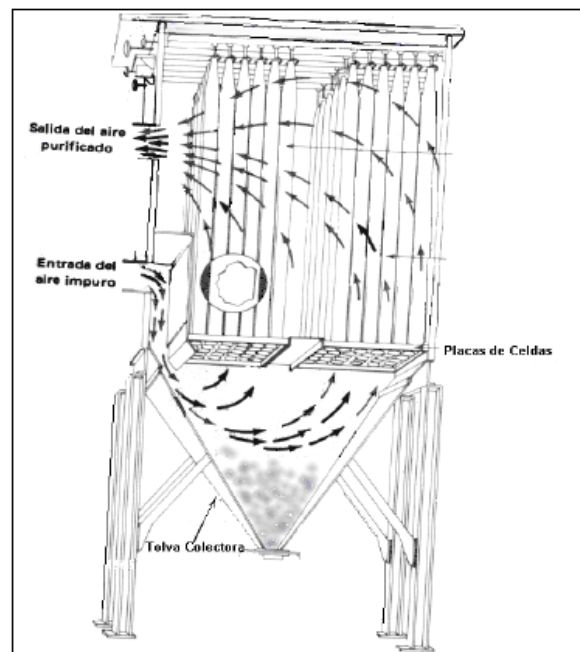


Figura 8. Separadores de capa porosa

E) Precipitación electrostática: Es un sistema de captación de polvo de muy alto rendimiento para partículas pequeñas. Básicamente, se hace pasar la partícula por campos eléctricos de elevado potencial, produciéndose una ionización del polvo y la atracción del mismo por los electrodos donde se descarga y deposita. Posteriormente, se elimina por métodos mecánicos (Fig 9).

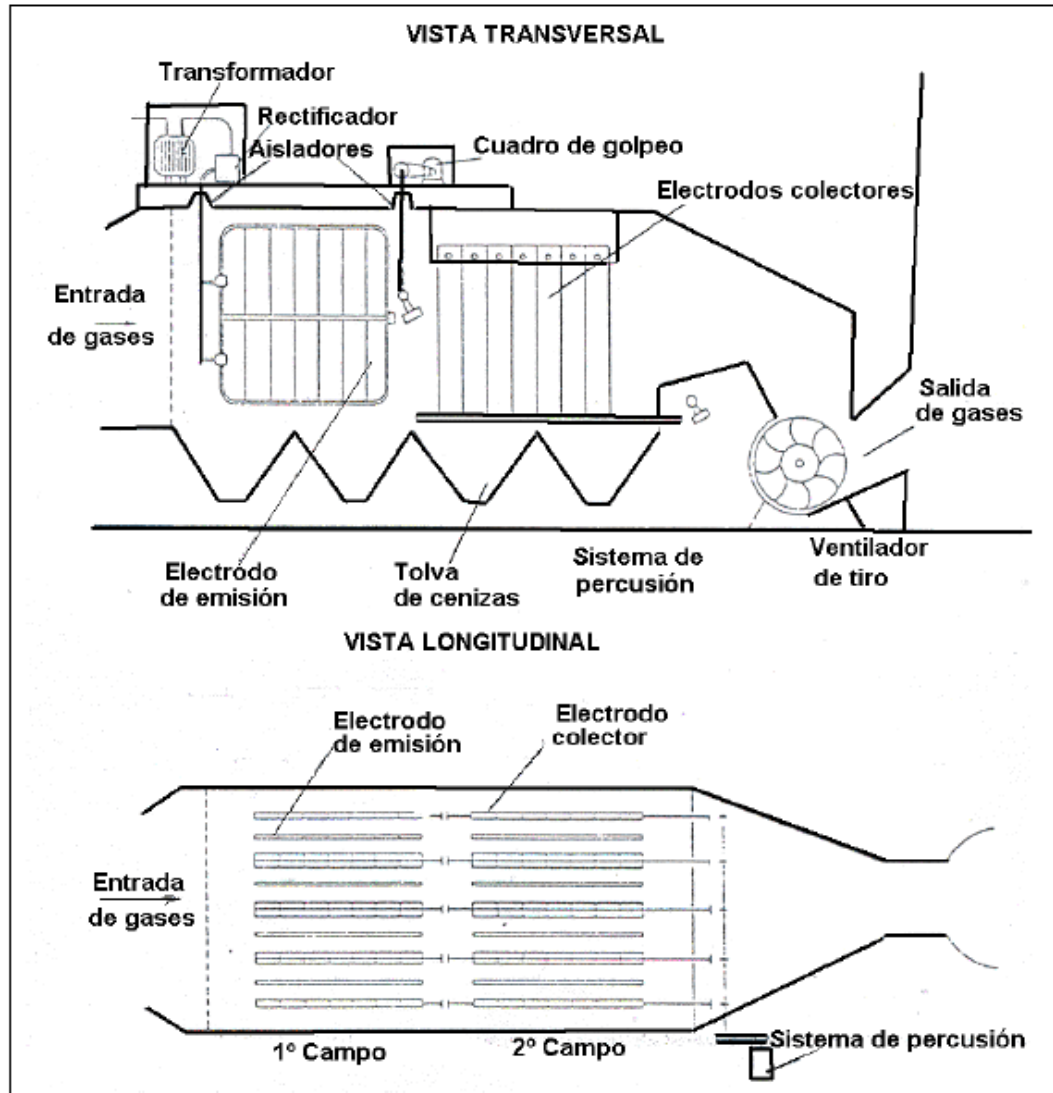


Figura 9. Vista esquemática de un precipitador electrostático

F) Separadores por vía húmeda: En este tipo de separadores, las partículas son separadas del gas vector mediante la utilización de líquidos, permitiendo a veces combinar separación de gases y partículas. Podemos indicar los aparatos de burbujas, aparatos de pulverización, aparatos de condensación y los equipos que combinan el lavado con otros sistemas de separación (Fig 10).

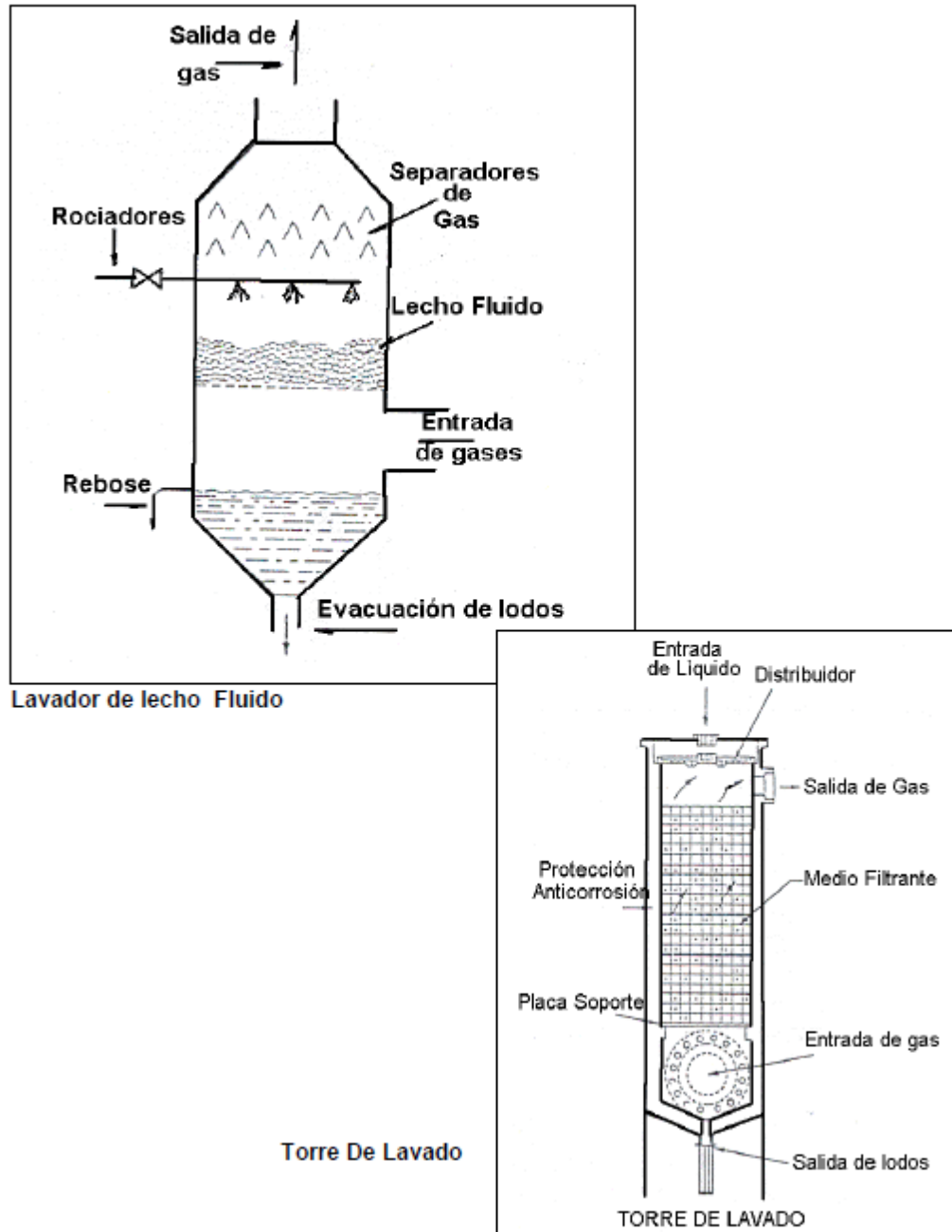
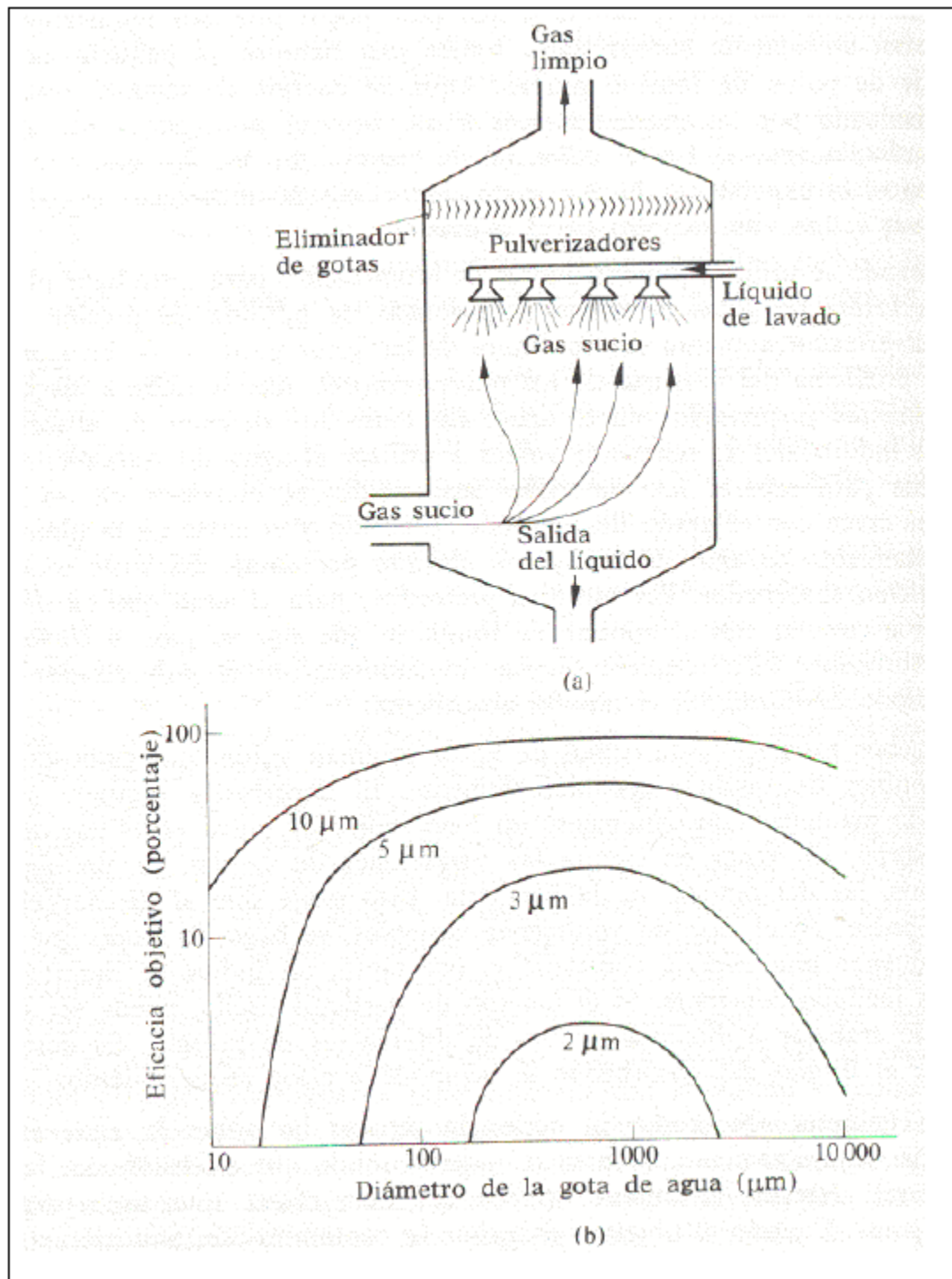


Figura 10. Separadores por vía húmeda



(a) Torre de pulverización por gravedad. (b) Relación entre el tamaño de la gota y la eficacia de recolección para partículas de 2 a 10 mm de diámetro de polvo de peso específico 2.

La selección de uno u otro tipo de separación, depende de un balance técnico – económico, el que debe tener en cuenta el tamaño de las partículas a retener, el rendimiento necesario de separación, el costo de instalación y el costo operativo.