

LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Introducción

El aire, conjunto de gases que forman la atmósfera, es indispensable para el desarrollo de la vida. No es un recurso ilimitado, sino un bien limitado que debemos utilizar evitando alteraciones en su calidad.

Se consideran formas de contaminación atmosférica los cambios de la composición química del aire, la presencia de partículas en el mismo y las alteraciones debidas a formas de energía como radiaciones electromagnéticas y ondas generadoras de vibraciones y ruidos.

El problema de la contaminación atmosférica se ha agravado en los últimos años como consecuencia del desarrollo industrial y de las actividades urbanas, lo que ha obligado a tomar medidas de carácter local, regional, nacional e internacional con el fin de recuperar la calidad del aire perdida.

El ruido y las radiaciones electromagnéticas se han convertido en uno de los problemas que debe afrontar nuestra sociedad. El ruido es un contaminante persistente, difícil de combatir y que ocasiona graves consecuencias para la salud y el bienestar físico y psíquico de las personas.

1 - La contaminación del aire

Existen distintas definiciones de la contaminación del aire. La Ley 38/1972 de Protección del Ambiente Atmosférico define este tipo de contaminación como «la presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza».

Fuentes de contaminación

Las fuentes de contaminación del aire se pueden agrupar en dos tipos atendiendo a su origen:

- **Naturales.** Se originan por la actividad de los seres vivos y los procesos naturales relacionados con la actividad de la geosfera. Las erupciones volcánicas, por ejemplo, aportan compuestos de azufre (SO_2 , H_2S) y una gran cantidad de polvo que puede diseminarse por la atmósfera por la acción del viento. Los procesos de respiración de los seres vivos aumentan la cantidad de CO_2 en la atmósfera; la descomposición anaerobia de materia orgánica produce metano (CH_4) y los vegetales generan pólenes y esporas. Otras fuentes de emisión de partículas sólidas y de gases son los incendios forestales de origen natural y las descargas eléctricas en las tormentas, que ocasionan la formación de óxidos de nitrógeno al oxidar el nitrógeno atmosférico.
- **Artificiales o antropogénicas.** Son consecuencia de la actividad humana. La mayor parte de la contaminación procede de la utilización de combustibles fósiles (carbones, petróleo y gas) y de actividades industriales.

Las actividades responsables de la mayoría de las emisiones son las siguientes:

- Uso de combustibles como el carbón, gasóleo y gas natural como fuentes de calor en los hogares. Las emisiones producidas dependen del tipo de combustible y, en gran medida, del diseño y estado de conservación de los aparatos empleados.
- Los medios de transporte. El automóvil y el avión causan un mayor grado de contaminación que el ferrocarril y el barco.

El grado de contaminación provocada dependerá de la clase de combustible empleado, del tipo de motor, del empleo de catalizadores y de la densidad del tráfico.

- En la industria, el aporte de contaminación al aire depende del tipo de actividad y de las medidas de control de emisiones, siendo las centrales térmicas, las cementeras, las siderometalúrgicas, las papeleras y las químicas las más contaminantes.
- En la agricultura y la ganadería, el uso intensivo de fertilizantes, las quemas y la elevada concentración de ganado vacuno provocan un aumento en la atmósfera de gases de efecto invernadero como el metano (CH_4).
- La eliminación de residuos sólidos mediante los procesos de incineración.

2 - Tipos de contaminantes

Se consideran contaminantes del aire a las sustancias químicas y formas de energía que, en concentraciones determinadas, pueden causar molestias, daños a las personas y seres vivos, o bien provocar alteraciones en los ecosistemas, en los bienes materiales y en el clima.

Se denomina **tiempo de residencia** o vida media de un contaminante al periodo de tiempo que puede permanecer en la atmósfera como tal. El tiempo de residencia varía dependiendo de la naturaleza del contaminante y de las condiciones ambientales.

Podemos clasificar los contaminantes en dos grupos: las sustancias químicas y las formas de energía.

A. Sustancias químicas

Dentro de este grupo de contaminantes hay que diferenciar entre primarios y secundarios, según sea su origen.

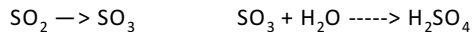
1. Contaminantes primarios. Sustancias emitidas directamente a la atmósfera desde distintas fuentes perfectamente identificables. Se incluyen dentro de este grupo:

- Las partículas como el polvo, aerosoles y humos.
- Los compuestos de azufre como el dióxido de azufre (SO_2), el trióxido de azufre (SO_3) y el dihidrógeno de azufre (H_2S).
- Óxidos de nitrógeno (NO_x), como el monóxido de nitrógeno (N_2O); monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2).
- Óxidos de carbono, como el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO_2).
- Compuestos orgánicos, como los hidrocarburos (compuestos orgánicos volátiles o COV), los policlorobifenilos (PCB) y las dioxinas y furanos.
- Los compuestos halogenados como el cloruro de hidrógeno (HCl), fluoruro de hidrógeno (HF) y los halocarburos, los clorofluorocarbonos (CFCs).
- Los metales pesados como plomo, mercurio y cadmio.
- Los olores.

Todos ellos constituyen más del 90% de los contaminantes del aire.

2. Contaminantes secundarios. Se originan a partir de los conta-

minantes primarios mediante reacciones químicas que tienen lugar en la atmósfera, formando otros contaminantes nuevos. Los más importantes son el SO_3 , NO_3 , H_2SO_4 , HNO_3 , O_3 (ozono troposférico) y los PAN (nitratos de peroxiacilo).



B. Formas de energía

Las formas de energía constituyen el segundo gran grupo de contaminantes y se dividen, a su vez, en tres tipos: las radiaciones ionizantes, las radiaciones no ionizantes y el ruido.

1. Radiaciones ionizantes. Son radiaciones que pueden ionizar átomos o moléculas de la materia sobre la que actúan. Se clasifican en cuatro tipos: radiaciones alfa, beta, gamma y rayos X.

Las radiaciones alfa y beta son partículas cargadas eléctricamente y poseen un bajo poder de penetración. Los rayos X y las radiaciones gamma, al ser ondas electromagnéticas, poseen un alto poder de penetración (decímetros para rayos X y metros para radiaciones gamma); por tanto sus efectos sobre los seres vivos son mayores.

El origen natural de estas radiaciones se encuentra en los procesos de transformación de los materiales radiactivos de la corteza terrestre y en las radiaciones cósmicas. Ciertas actividades médicas de tratamiento y exploración (rayos X, gammagrafías...), escapes en centrales nucleares y actividades de investigación e industriales, que emplean isótopos radiactivos, son fuentes de estas radiaciones.

Cuando las radiaciones ionizantes alcanzan a los seres vivos pueden provocar malformaciones genéticas, cáncer, etc. Los efectos provocados están en función de la energía absorbida, el tipo de radiación, tiempo de exposición y la parte del organismo afectada.

Un material radiactivo de origen natural es el gas Radón que se forma por desintegración del uranio. Se libera de las rocas graníticas (debido a la desintegración del U que poseen) y se mezcla con el aire. Las zonas donde se han detectado mayores concentraciones son el sur de Galicia, Extremadura y el sistema Ibérico.

2. Radiaciones no ionizantes. Son ondas electromagnéticas que no provocan ionización en los átomos. Tienen su origen natural en el Sol y en la superficie de la Tierra y su origen antropogénico en los cables de fluido eléctrico y aparatos eléctricos. Son las radiaciones ultravioleta (producidas por el Sol, lámparas bronceadoras, tubos fluorescentes...), radiaciones infrarrojas (generadas por cuerpos incandescentes y la propia Tierra), ondas de radiofrecuencia y microondas (empleadas en comunicación vía satélite, radiodifusión, televisión, telegrafía y telefonía).

Los efectos que provocan dependen de la intensidad del campo electromagnético generado y del tiempo de exposición y pueden ser alteraciones del sistema nervioso (estrés, ansiedad, cefaleas, insomnio...), trastornos hormonales e inmunológicos, elevación de la temperatura corporal e inducción de corrientes eléctricas en los tejidos de los seres vivos.

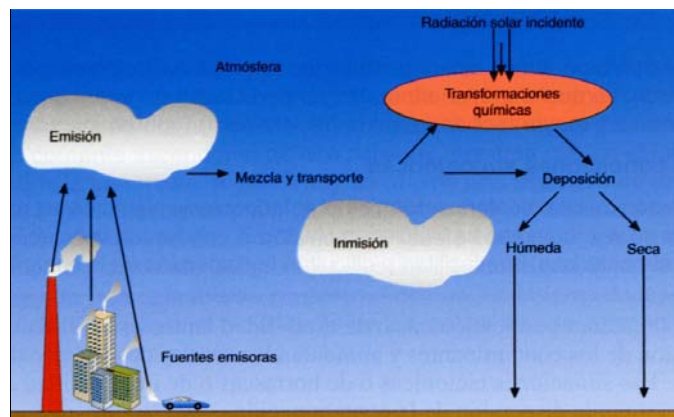
3. El ruido. Se considera en la actualidad un tipo especial de contaminación atmosférica con una gran incidencia sobre la población.

3 - Dispersión de los contaminantes

Existen una serie de elementos que intervienen en los procesos de contaminación del aire. El primer proceso es la emisión de

contaminantes, cuyo nivel es variable en función de las características de los focos emisores y de las condiciones en que se produce. La **Emisión** es la cantidad de contaminantes que vierte un foco emisor en un periodo de tiempo determinado.

El proceso de contaminación continúa con el **transporte, difusión, mezcla o acumulación** de los contaminantes, procesos llevados a cabo por los fenómenos meteorológicos.



Durante su estancia en la atmósfera, los contaminantes reaccionan entre sí y con los componentes del aire, especialmente con los de alto poder oxidante (radicales hidroxilo u otros radicales libres), mediante distintos **procesos químicos**, dando lugar a la formación de contaminantes secundarios. Muchas de estas reacciones son activadas por las radiaciones luminosas denominándose entonces **procesos fotoquímicos**.

Finalmente se produce la **deposición** o retorno a la superficie de los contaminantes que se incorporan a los océanos o al suelo. La deposición se produce básicamente por dos mecanismos: *deposición húmeda* (deposición mediante el agua de las precipitaciones) y *deposición seca* (debida a la acción de la gravedad o fenómenos de adsorción).

El resultado final de estos procesos es la presencia en el aire de una cierta cantidad de contaminantes a los que están expuestos los seres vivos y los materiales que se encuentran bajo su influencia. Se denomina **inmisión** a la *cantidad de contaminantes presentes en una atmósfera determinada*, una vez que han sido transportados, difundidos, mezclados en ella. Si los niveles de inmisión son altos, disminuye la calidad del aire y se originan los efectos negativos sobre el hombre, los animales, los vegetales y los ecosistemas en su conjunto.

Los *factores que influyen en la de dispersión de los contaminantes*, y por tanto en su concentración, son: las características de las emisiones, las condiciones atmosféricas y las características geográficas y topográficas.

- Características de las emisiones

Este factor viene determinado por la *naturaleza del contaminante* (si es gas o partícula, puesto que las partículas pueden depositarse con mayor facilidad), su concentración, la temperatura de emisión y la velocidad de salida, ya que ambas facilitan la dispersión.

En este punto podemos incluir también la altura del foco emisor (por ejemplo una chimenea), ya que a mayor altura, mayor posibilidad de superar capas de inversión térmica y mayor facilidad para la dispersión del contaminante.

- Condiciones atmosféricas

La situación de la atmósfera determina el estado y movimiento de las masas de aire, lo que a su vez, que facilita o dificulta la

dispersión de la contaminación.

Las situaciones anticiclónicas o de estabilidad atmosférica dificultan la dispersión de los contaminantes y aumentan los niveles de inmisión de los mismos. Por el contrario, las situaciones ciclónicas o de borrascas generan inestabilidad atmosférica y facilitan la dispersión de la contaminación.

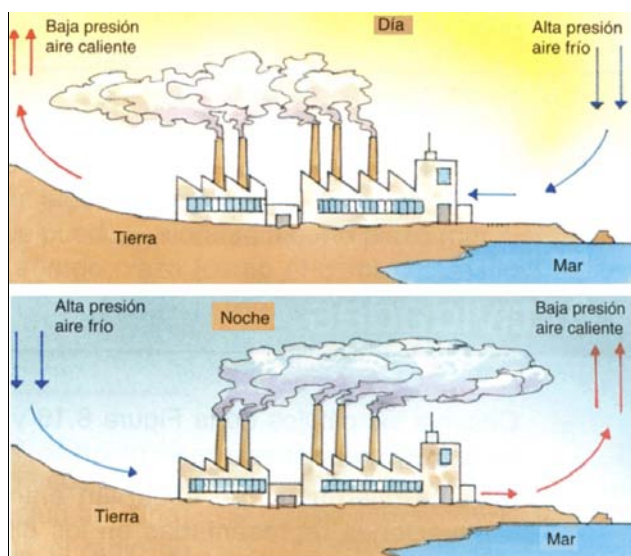
Entre los factores atmosféricos que se deben tener en cuenta destacan:

- La temperatura del aire y sus variaciones con la altura, que determinan los movimientos de las masas de aire y por tanto las condiciones de estabilidad o inestabilidad atmosféricas. Asimismo, estas variaciones verticales de temperatura pueden dar lugar a situaciones de inversión térmica, lo que dificulta la dispersión de la contaminación al impedir su ascenso.
- Los vientos horizontales son de gran importancia en la dispersión de contaminantes, en función de su dirección, velocidad y turbulencia. La dirección nos señala la zona hacia la que se pueden desplazar los contaminantes; la velocidad está en relación directa con la capacidad de dispersión, a mayor velocidad mayor dispersión de los contaminantes; y la turbulencia provoca una acumulación de contaminantes.
- Las precipitaciones, que producen un efecto de lavado sobre la atmósfera al arrastrar parte de los contaminantes al suelo produciendo su deposición húmeda.
- La insolación, que favorece las reacciones que dan lugar a los contaminantes secundarios, aumentando la concentración de los mismos.

- Características geográficas y topográficas

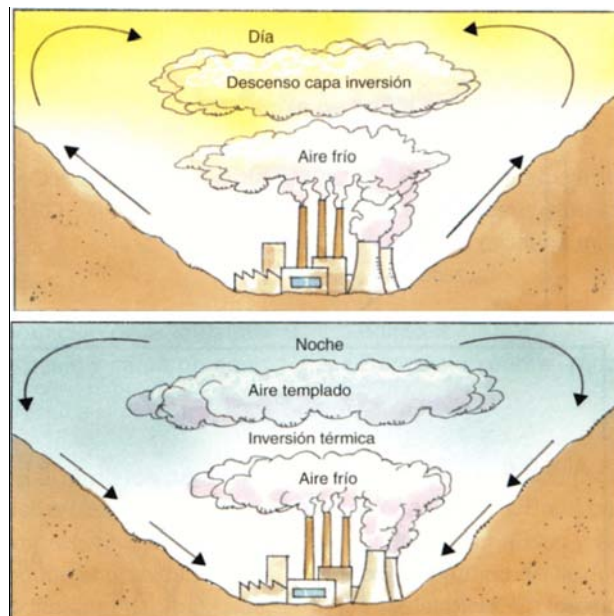
La situación geográfica y el relieve tienen influencia en el origen de brisas, que arrastran los contaminantes o provocan su acumulación..

- En las zonas costeras se originan brisas que durante el día desplazan los contaminantes hacia el interior, mientras que durante la noche, al invertirse la circulación de las mismas, la contaminación se desplaza hacia el mar.

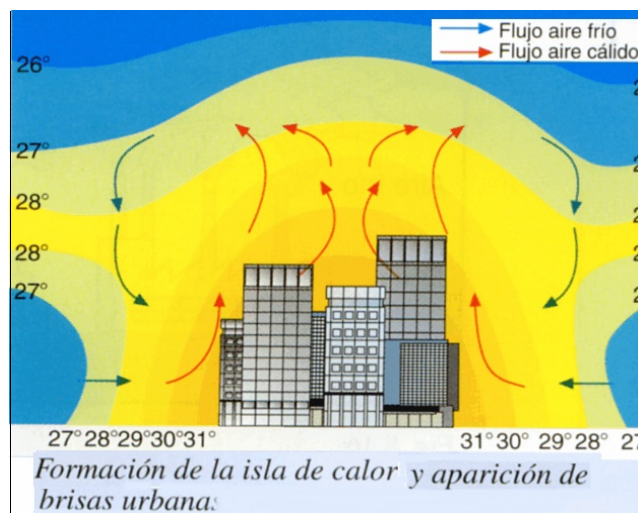


- En zonas de valles fluviales y laderas se generan las llamadas brisas de valle y montaña, como consecuencia del diferente calentamiento de las laderas y valles y del periodo día-noche. Durante el día, las laderas se calientan y se genera una corriente ascendente de aire caliente, mientras que en el fondo del valle se acumula una masa de aire frío y se

origina una situación de inversión térmica que impedirá el movimiento de las masas de aire y dificultará la dispersión de los contaminantes. Durante la noche el suelo cede calor a las masas de aire circundante y asciende; en su lugar desciende aire frío al fondo del valle, se acumula y da lugar a la misma situación. Además, las montañas frenan los vientos favoreciendo la acumulación de contaminantes.



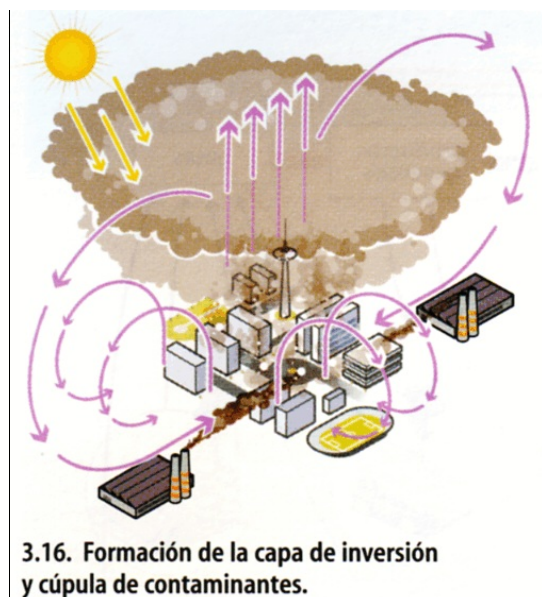
- La presencia de masas vegetales disminuye la cantidad de contaminación en el aire al frenar la velocidad del viento y facilitando la deposición de partículas que quedan retenidas en las hojas. Además, la vegetación absorbe CO₂ para realizar la fotosíntesis, actuando como un sumidero.
- La presencia de núcleos urbanos influye en el movimiento de las masas de aire, disminuyendo su velocidad y generando turbulencias. Además aparece el efecto denominado **isla de calor**, que hace que la temperatura en el interior de la ciudad sea más alta que en su periferia por el calor que se produce en las combustiones en vehículos y calefacciones y el desprendido por edificios y pavimento. Esto hace que la temperatura en las ciudades sea de 1°C o 2°C mayor que en las zonas rurales circundantes, aunque durante la noche, en condiciones anticiclónicas, la diferencia puede llegar a 10°C.



Ello favorece el ascenso del aire caliente del interior de la ciudad, provocando el movimiento de masas de aire frío de

la periferia al interior, que arrastran los contaminantes emitidos por las industrias de los cinturones industriales que suelen existir en el entorno de las áreas urbanas. Al llegar a cierta altura, el aire se enfría y desciende generando una célula convectiva que provoca la concentración de los contaminantes en el área urbana.

- Además, en las condiciones anticiclónicas propias del verano: aire en calma, ausencia de nubosidad y de precipitaciones e intensa irradiación solar, las partículas y contaminantes suspendidos en altura absorben la radiación solar se calientan y generan una capa de inversión que impide el ascenso del aire caliente y da lugar a la formación de una **cúpula de contaminantes** que puede mantenerse durante varios días hasta que el viento o la lluvia eliminan la capa de inversión térmica. Los procesos fotoquímicos en la parte alta de la cúpula dan lugar a contaminantes secundarios de carácter oxidante, cuya concentración puede desencadenar situaciones de emergencia que obliguen a medidas como la prohibición del tráfico de vehículos. La acumulación de contaminantes hace que el aire tome un color pardo rojizo y se genera el llamado smog fotoquímico.



3.16. Formación de la capa de inversión y cúpula de contaminantes.

4 - Efectos de la contaminación del aire

La contaminación del aire ocasiona efectos negativos en los seres vivos y en los materiales, tanto a corto plazo (por ejemplo, los daños en la salud humana) como a largo plazo (como el cambio climático). Si tenemos en cuenta el radio de acción, podemos hablar de efectos locales (smog), efectos regionales (la lluvia ácida) o efectos globales, que afectan a todo el sistema terrestre (el cambio climático).

A. Efectos locales. Formación de nieblas contaminantes. Smog

Uno de los efectos locales más importantes es la formación de nieblas contaminantes o smog.

La formación de estas nieblas o smog (smoke = humo y fog = niebla) es una de las manifestaciones típicas de la relación entre la contaminación urbana y las condiciones atmosféricas. Existen dos tipos de smog : sulfuroso o húmedo y fotoquímico.

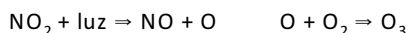
El **smog sulfuroso o húmedo** se llama también tipo Londres porque se estudió a partir del grave proceso de contaminación sufrido en Londres en 1952, en el que murieron unas 4000

personas. Tiene su origen en la elevada concentración en los núcleos urbanos de partículas en suspensión (hollines, humos), SO₂ procedentes de vehículos, calefacciones e industrias, y su combinación con nieblas en situaciones en las que la atmósfera posee una elevada humedad, vientos en calma y anticiclón. Se manifiesta como neblina de color pardo-gris sobre la ciudad y produce alteraciones respiratorias que agravan los procesos asmáticos. Se produce en invierno.

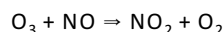
El **smog fotoquímico** tiene su origen en la presencia en la atmósfera de oxidantes de origen fotoquímico (O₃, PAN, aldehídos) que surgen de las reacciones de óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y oxígeno con la energía de la radiación solar ultravioleta. Este proceso se ve favorecido por situaciones anticiclónicas, fuerte insolación y vientos débiles que dificultan la dispersión de los contaminantes. El smog fotoquímico se caracteriza por la presencia de bruma, formación de O₃, irritación ocular y de garganta, etc. Suele afectar en verano a grandes ciudades como Madrid, Los Angeles, Atenas, etc. En la mayor parte de los casos su formación está relacionada con el efecto isla de calor. Si se mantiene varios días puede dar lugar a situaciones de emergencia sanitaria.

Las reacciones fotoquímicas responsables de la producción de los oxidantes fotoquímicos son numerosas, muy complejas y no conocidas en su totalidad. Se pueden resumir en:

- Formación de ozono a partir del NO₂.



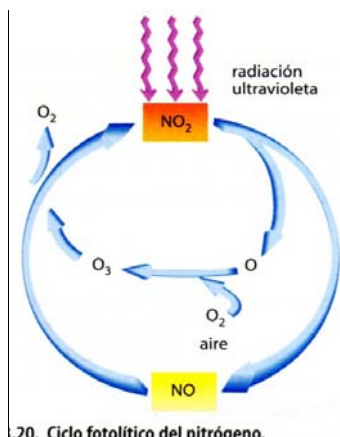
Si no están presentes los hidrocarburos, el O₃ reacciona con NO para formar de nuevo NO₂ con lo que no se acumula O₃.



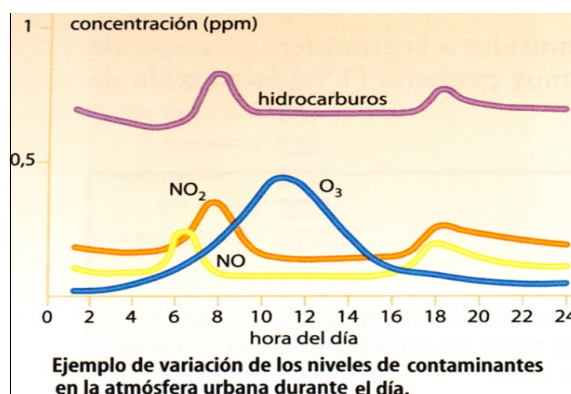
- Formación de radicales libres activos a partir de radicales de hidrocarburos, que producen la oxidación del NO a NO₂.

Si existen hidrocarburos, sus radicales orgánicos oxidados (formados en su reacción con el oxígeno), reaccionan con el NO, oxidándolo y originando radicales libres activos, con lo que no se elimina el ozono. Así aumenta la concentración de ozono (O₃), puesto que no participa en la oxidación del NO a NO₂.

- Formación del PAN (nitrato de peroxiacetileno). Los radicales libres reaccionan entre sí y con contaminantes primarios, formando una mezcla compleja de oxidantes, entre los que destacan el PAN (R-CO₃-NO₂) y los aldehídos.



20. Ciclo fotolítico del nitrógeno.



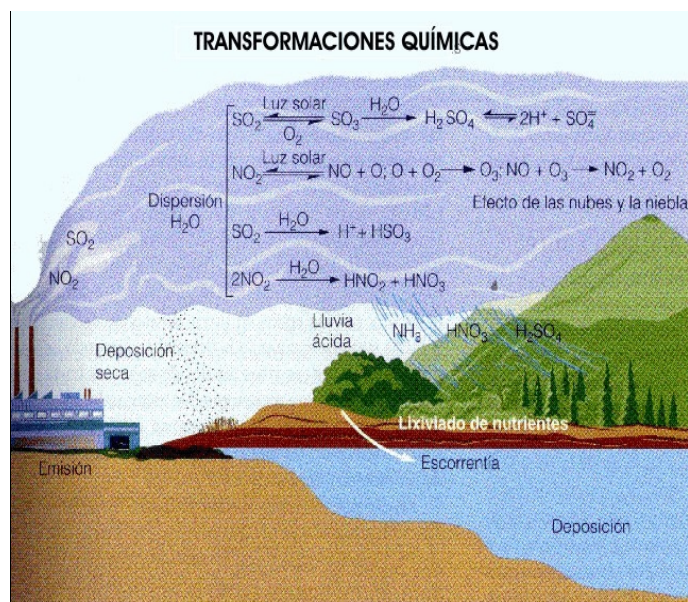
Ejemplo de variación de los niveles de contaminantes en la atmósfera urbana durante el día.

El resultado final es la concentración en la atmósfera de sustancias con gran poder oxidante, como el PAN (R- CO₃-NO₂), NO₂ y O₃. Este fenómeno se observó en Los Angeles en 1944 y es cada vez más frecuente en ciudades con mucha industria y gran densidad de tráfico.

B. Efectos regionales. Lluvia ácida

Los contaminantes pueden retornar a la superficie terrestre en lugares cercanos a los focos de emisión o bien en zonas alejadas, originando en este segundo caso el fenómeno conocido como contaminación transfronteriza, ejemplo de la cual es la lluvia ácida. La **lluvia ácida** consiste en el retorno a la superficie de los óxidos de S y N en forma de ácidos disueltos en las gotas de lluvia, pero también en forma de nevadas, nieblas y rocíos.

El fenómeno de la lluvia ácida comienza cuando el azufre y el nitrógeno presentes en los combustibles fósiles son liberados a la atmósfera mediante procesos de combustión, como SO₂ y NO_x, reaccionan con el agua atmosférica y sufren un proceso de oxidación en el que se forma ácido sulfúrico y ácido nítrico que se disuelven en las gotas de agua que forman las nubes. Pueden ser transportados por el viento a cientos de kilómetros del foco emisor y finalmente retornan a la superficie (suelo u océanos) por medio de las precipitaciones (deposición húmeda).



Transformaciones químicas que producen como resultado la lluvia ácida

La mayor acidez en el agua de lluvia registrada en Europa se ha observado en Escocia, donde el pH ha llegado a ser de 2,4. Óxidos de S y de N generados por países muy industrializados, como Gran Bretaña o Alemania, son trasladados por los vientos hacia zonas como Noruega, Dinamarca o Finlandia, donde, en forma de lluvia ácida, se depositan.

Los efectos de la lluvia ácida son los siguientes:

- Aumento de la acidez del agua en los ecosistemas acuáticos como ríos y lagos, lo que provoca una disminución o la desaparición de especies
- Aumento de la acidez del suelo, empeorando su calidad y transformándolo en suelo improductivo.
- La vegetación en general y, en particular, las hojas de los árboles, mueren por la acidez del rocío y de la lluvia, pudiendo desaparecer grandes extensiones de bosques.
- La acidez de la lluvia acelera la corrosión de metales, deterioro de pinturas y barnices y la descomposición de materia-

les de construcción, sobre todo calizas, y mármoles, en los que provoca el denominado «mal de la piedra».

C. Efectos globales: agujero en la capa de ozono y cambio climático.

Consideramos efectos globales a aquellos que abarcan la totalidad del planeta. Se incluyen entre estos efectos el agujero en la capa de ozono y el cambio climático producido por la acumulación en la atmósfera de gases de efecto invernadero, que provocan un aumento de la temperatura media terrestre.

1. Agujero en la capa de ozono

Entre los años 1977 y 1984 se detectó que la cantidad de ozono presente durante la primavera en la Antártida había disminuido en un 40%. Los científicos denominaron a este fenómeno el agujero de ozono. Los estudios realizados muestran el incremento de dicho agujero, su extensión por América austral y su incidencia en el aumento del cáncer de piel y de la ceguera en el ganado ovino.

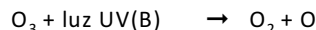
En la estratosfera tienen lugar múltiples reacciones químicas que provocan la formación y destrucción del ozono.

La formación del ozono se realiza en dos fases:

1. Fotólisis del oxígeno molecular por la acción de la luz ultravioleta: $\text{O}_2 + \text{luz UV(A)} \rightarrow \text{O} + \text{O}$
2. Formación del ozono al reaccionar el oxígeno atómico con el molecular: $\text{O}_2 + \text{O} \rightarrow \text{O}_3 + \text{calor}$

La velocidad máxima de generación de ozono tiene lugar a una altitud de 22 km sobre el ecuador, donde la radiación solar es más intensa.

Sin embargo, el ozono, a medida que se forma, se destruye por la acción de la luz ultravioleta de longitud de onda mayor:

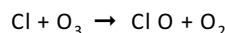


Otro proceso implicado probablemente en la destrucción del ozono es la reacción con el oxígeno atómico. $\text{O}_3 + \text{O} \rightarrow 2 \text{O}_2$

Tanto la formación como la destrucción del ozono absorben la radiación ultravioleta impidiendo su llegada a la superficie terrestre, actuando la estratosfera como un filtro protector.

La reducción de la cantidad de ozono estratosférico detectada hace que se absorba una cantidad menor de radiación UV(B), ya que hay menos ozono disponible para que se produzca su fotólisis, por lo que una mayor cantidad de luz UV llegará a la superficie terrestre.

Uno de los agentes causantes de la destrucción del ozono son los *clorofluorocarbonos (CFC)*; estos compuestos se fabricaron masivamente para ser utilizados en la industria del frío, como propelentes, disolventes, espumantes o en la lucha contra incendios. Entre los CFC más usados están el CFC-11 (CFCl₃) y el CFC-12 (CF₂Cl₂), también llamados, respectivamente, freón 11 y freón 12. Estas sustancias son tan estables que no se combinan en la troposfera por lo que llegan hasta la estratosfera donde la radiación ultravioleta los descompone, desprendiendo átomos de cloro que reaccionan con el ozono destruyéndolo:



El ClO formado reacciona con el O atómico que se libera en la fotólisis del oxígeno y del ozono, liberándose más átomos de cloro que a su vez destruyen más ozono: $\text{ClO} + \text{O} \rightarrow \text{Cl} + \text{O}_2$

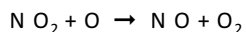
Los átomos de cloro pueden permanecer en la estratosfera hasta 100 años y, durante este tiempo, cada uno de ellos puede

romper hasta 100000 moléculas de O₃. Por esta razón, si las emisiones de CFC se redujeran a cero, las reacciones que están destruyendo la capa de ozono proseguirían durante al menos un siglo.

Para frenar este deterioro, a partir del Protocolo de Montreal (1987) se prohibió el uso y fabricación de los CFC. Los acuerdos adoptados por los países industrializados han resultado fáciles de asumir en lo referente a su uso como propelentes, pero no tanto en otros procesos, como en la industria del frío, tan necesaria en el desarrollo social y económico.

Otros gases responsables de la disminución del ozono estratosférico son los óxidos de nitrógeno, que reaccionan con el ozono destruyendolo: $N O + O_3 \rightarrow N O_2 + O_2$

El NO₂ formado reacciona con el O atómico produciendo más NO que continúa rompiendo moléculas de ozono



La presencia de estos gases en la estratosfera puede deberse a varias causas de origen antrópico, entre las que destacan las siguientes:

- El uso indiscriminado de fertilizantes a base de nitrógeno, que puede haber aumentado la formación de N₂O, sustancia bastante estable en la troposfera y que puede llegar a alcanzar la estratosfera.
- Las pruebas nucleares atmosféricas, que generan altísimas temperaturas y hacen reaccionar el nitrógeno y el oxígeno para formar grandes cantidades de monóxido de nitrógeno (NO), responsable del color naranja del hongo atómico en altura. Además, la fuerza de la onda expansiva inyecta estos óxidos directamente en la estratosfera.
- Las emisiones de los aviones supersónicos que vuelan en la estratosfera.

Los óxidos de nitrógeno que llegan a la estratosfera son nocivos; sin embargo, en la troposfera resultan beneficiosos, ya que reaccionan con los compuestos de cloro impidiendo que lleguen a la estratosfera. $NO_x + ClO \rightarrow ClNO_3$

La consecuencia más probable de la pérdida de ozono es el aumento de la incidencia del cáncer de piel. En los animales produce un fuerte incremento de la ceguera, y su acción sobre el fitoplancton es potencialmente muy grave, ya que afecta a toda la cadena trófica. En las plantas, el incremento de los rayos UVA provoca, entre otras alteraciones, la reducción del tamaño de las hojas y un menor crecimiento.

2. El efecto invernadero.

La superficie terrestre, calentada por las radiaciones solares, emite energía en forma de radiación infrarroja. La atmósfera detiene esta radiación y la devuelve a la superficie haciendo que la temperatura media de la superficie de la Tierra sea de 15°C.

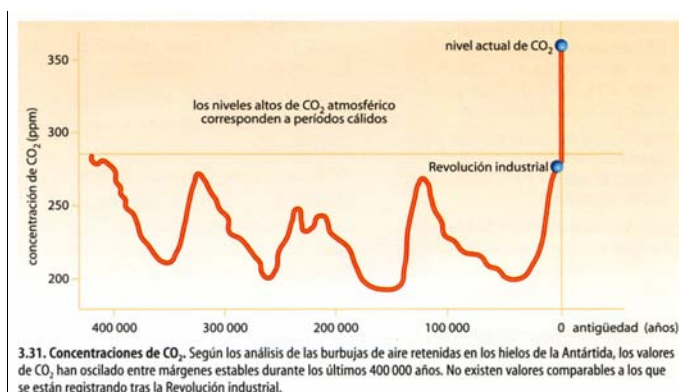


Este fenómeno se conoce como efecto invernadero.

Sin embargo, en los últimos 100 años, a partir de la Revolución industrial, la temperatura media ha aumentado más de 0,5 °C, en parte debido a que se ha incrementado en más de un 30 % la concentración de CO₂.

Los análisis del aire preservado en pequeñas burbujas de los hielos glaciares, indican que el CO₂ ha variado desde tiempos remotos por causas naturales todavía poco conocidas (por ejemplo, de 270 ppm hace unos 150000 años se pasó a 200 ppm hace 20000 años).

En los últimos años, el hombre ha provocado un aumento de CO₂ debido a la quema de combustibles fósiles (carbón, fuel, gasolina, gasóleo, gas natural) y de madera, a los incendios forestales, a prácticas agrícolas que aumentan la velocidad de descomposición del humus y a las conversiones industriales de caliza en cemento, entre otras causas. Además, al destruir los bosques y las selvas tropicales, ha reducido la absorción fotosintética de CO₂.



Según los pronósticos realizados, al final de este siglo se alcanzarán las 600 ppm de CO₂. Se prevé que este aumento provocará un *incremento de la temperatura media global del aire de entre 1,5 °C y 4,5 °C*. El calentamiento parece que sería menor en los trópicos (1 °C-2 °C) que en las zonas polares (4 °C-8 °C).



El aumento de la temperatura en la Tierra puede ocasionar diversas alteraciones, como un cambio climático, que conllevaría un posible *aumento global de las precipitaciones y su redistribución geográfica*.

Otra consecuencia del incremento del efecto invernadero es la *fusión de amplias superficies de hielo glaciar*, incluidas zonas significativas de los casquetes polares. Este deshielo significaría la *elevación del nivel del mar, con la consiguiente inundación de importantes zonas litorales* habitadas por millones de personas. Este proceso de deshielo es muy lento: se estima que *en este siglo el nivel medio del mar subirá entre 15 cm y 70 cm*.

A pesar de la incertidumbre sobre las consecuencias de estos cambios, la previsión de su incidencia sobre la economía ha llevado a los gobiernos a adoptar medidas para reducir las emisiones de los gases causantes del efecto invernadero.

El **Protocolo de Kioto**, en diciembre de 1997, marcó unos límites para las emisiones de estos gases, en un intento de conjugar conservación y desarrollo. Los países desarrollados se comprometían a reducir las emisiones de CO₂ para que en el 2012 las emisiones fueran un 5,2 % menores que las de 1990 (reducción media del conjunto de los países)

Este acuerdo, ratificado por la mayoría de los países desarrollados (con alguna excepción tan importante como Estados Unidos, responsable del 25 % de las emisiones mundiales), no está siendo cumplido por todos. Este es el caso de España: se estima que, entre 1990 (año base) y 2004, las emisiones de CO₂ aumentaron más del 35 %, cifra que supera el 15 % al que se comprometió nuestro país con la Unión Europea. España es así, junto con Australia, el país industrializado donde más aumentaron las emisiones.

El acuerdo de Kioto no impone limitaciones a las emisiones de los países no desarrollados para facilitar su desarrollo económico. Entre los países de este grupo están China, India, Brasil y Corea, que están experimentando un fuerte crecimiento.

Ante la dificultad para alcanzar los objetivos previstos se introdujeron mecanismos de flexibilidad con la finalidad de que las reducciones no fueran tan drásticas.

El primero de dichos mecanismos se basa en la compraventa de emisiones: un país puede comprar a otro los derechos de las emisiones. El segundo permite a un país superar las emisiones a cambio de realizar inversiones destinadas a la obtención de energías limpias en países no desarrollados (se denomina mecanismo de desarrollo limpio). El tercero consiste en compensar el aumento de emisiones con la plantación de árboles y otros vegetales, que contribuyen a la reducción del CO₂ atmosférico.

5 - La calidad del aire

La legislación española fija los niveles máximos admisibles de emisiones procedentes de actividades industriales y vehículos. La vigilancia de la calidad del aire se realiza mediante:

- Estaciones de medida de los contaminantes del aire.
- Indicadores biológicos de contaminación. Algunas especies son muy sensibles a ciertos contaminantes gaseosos atmosféricos, de tal forma que sus efectos permiten identificar la contaminación atmosférica y vigilar su evolución. Entre las especies empleadas destacan los líquenes, que son muy sensibles al SO₂, HF y HCl, metales pesados, etc..
- Empleo de los sensores Lidar, que son empleados para la detección de los contaminantes del aire.

Medidas de prevención y corrección

Entre las acciones destinadas a disminuir o corregir la contaminación del aire destacan:

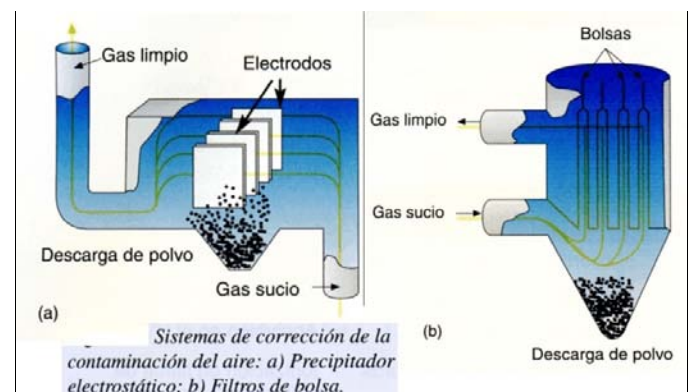
1. **Medidas preventivas**, encaminadas a evitar la aparición del problema, como son:

- La planificación de usos del suelo, que contemplen los lugares idóneos para establecer industrias.
- Las evaluaciones de impacto ambiental, con el fin de establecer medidas correctoras que mitiguen los impactos antes de que aquéllos se lleven a cabo.

- El empleo de tecnologías de baja o nula emisión de residuos.
- Programas de I+D sobre fuentes de energía alternativas y menos contaminantes.
- Mejora de la calidad y el tipo de combustibles
- Educación ambiental, para lograr del ciudadano un uso racional y eficiente de la energía
- Medidas legislativas con el establecimiento de normativas sobre calidad del aire

2. **Medidas correctoras**, como la depuración del aire contaminado y las estrategias de dispersión.

- La retención de partículas de las emisiones con equipos adecuados: separadores de gravedad, filtros de tejido, precipitadores electrostáticos y los absorbentes húmedos que fijan las partículas a un líquido absorbente. Tienen el inconveniente de se producen residuos sólidos o líquidos que contaminan, a su vez, el suelo o el agua (Fig. 8.31).
- Los sistemas de depuración químicos de gases que emplean mecanismos de absorción, de adsorción, procesos de combustión y procesos de reducción catalítica.
- La expulsión de los contaminantes por medio de chimeneas adecuadas, facilitando su dispersión. En este caso se reduce la contaminación local, pero se pueden provocar problemas en lugares alejados de las fuentes de emisión.



6 - La contaminación acústica. El ruido.

Se entiende por ruido todo *sonido no deseado o molesto, capaz de alterar el bienestar fisiológico o psicológico* del ser humano y de aquellos animales capaces de captarlo.

A. Origen y fuentes productoras de ruido

En los últimos años, la cantidad de ruido producido se ha multiplicado en los países industrializados como consecuencia del aumento de la densidad de población urbana, de la mecanización en la mayoría de las actividades y de la utilización creciente de vehículos a motor. Las principales fuentes de ruido que la OMS considera son:

- La industria. El ruido que produce es causado por la maquinaria que se emplea, y aumenta en relación directa a la potencia de las máquinas.
- Los medios de transporte. Muchos autores consideran a los automóviles como la fuente más importante de ruido ambiental. Su incidencia depende de la intensidad del tráfico, la velocidad lo y de las características de la vía (anchura de la calle, edificios, tipo de pavimentos, etc.). Además, las motos y las señales de alarma (bocinas, sirenas) provocan ruidos más molestos, mientras el ferrocarril produce ruidos de baja

frecuencia y menos molestos. Los aviones causan graves problemas acústicos en las comunidades cercanas a los aeropuertos, y el grado máximo de ruido en este caso es alcanzado por el "estampido sónico» producido por los aviones supersónicos.

- Construcción y obras públicas. Las obras son causa de abundante ruido debido a la maquinaria empleada (por ejemplo, un martillo neumático produce 110 dB a un metro de distancia).
- Interior de edificios. Los electrodomésticos, la vida familiar, los aparatos de radio y televisión, los animales domésticos, las cisternas, etc., producen ruidos cuyo control resulta difícil.
- Otras fuentes son las relacionadas con el ocio y el tiempo libre, como son los lugares de diversión: cafeterías, discotecas, ferias, etc.

B. Efectos de la contaminación acústica

El ruido actúa sobre el organismo por medio de las vías auditiva y psicológica, afectando a la salud, la comunicación, la atención y el comportamiento de las personas. Los efectos del ruido sobre el organismo dependen de la edad, el estado físico y psicológico, el tipo de actividad etc. y, entre otros, son los siguientes:

- **Alteraciones fisiológicas**, como la pérdida de audición. Ésta depende de la intensidad y tiempo de exposición al ruido y se produce de forma gradual, lo que hace que su efecto pase inadvertido. Las consecuencias pueden ser permanentes o temporales (por ejemplo, si se superan los 85 dB en exposición prolongada, la pérdida de audición es irreversible).
Otros efectos son el incremento del ritmo respiratorio y cardíaco, aumento y de la presión arterial, náuseas, vómitos, pérdida de apetito, aumento en la secreción de adrenalina, etc. Además altera el órgano del equilibrio, lo que supone pérdida de éste y vértigos.
- **Alteraciones psíquicas**, que dependen de la intensidad, regularidad, la hora de emisión (los ruidos son más molestos durante la noche) y el estado de ánimo o la sensibilidad del receptor. Las alteraciones más frecuentes son la neurosis, la irritabilidad y el estrés, dificultad para conciliar el sueño, alteraciones del mismo, etc..
- **Otras alteraciones**, como las dificultades en la comunicación oral, que pueden ser causa de accidente, y disminución del rendimiento laboral y escolar.

C. Soluciones frente a la contaminación acústica

Las acciones para luchar contra el ruido pueden ser preventivas o correctoras:

1. Acciones preventivas.

Se basan en la aplicación de planes que prevengan la contaminación sonora. Entre ellas destacan:

- Planificación del uso del suelo. Limitar actividades incompatibles con la zona en la que se asientan.
- Planificación urbana. Zonificación y aislamiento geográfico de actividades más ruidosas en relación a zonas habitadas.
- Ubicación y distribución adecuadas de las viviendas, la insonorización y la instalación de pantallas acústicas .
- Estudios de impacto ambiental, a la hora de tomar decisiones sobre el establecimiento de industrias.
- Utilización de sistemas reductores del ruido en las fuentes

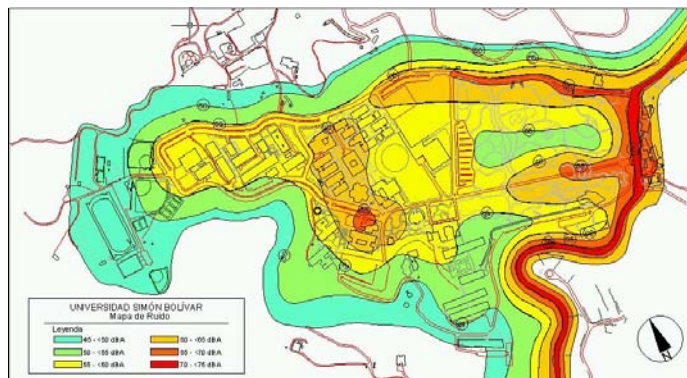
emisoras, como silenciadores en tubos de escape, maquinaria con dispositivos de insonorización, etc.

- Información y sensibilización del ciudadano por medio de campañas publicitarias y de educación para fomentar actitudes que impliquen la supresión de comportamientos ruidosos.

2. Acciones correctoras.

Se basan en la limitación, la reducción del ruido en la fuente emisora y en la protección de la población más expuesta. Pueden ser:

- Reglamentos específicos que regulan los niveles de emisión de ruido por las distintas fuentes.
- Acciones directas sobre las fuentes de emisión, como limitar el nivel de actividad o reducir su potencia sonora, modificar el trazado de las vías de circulación con el fin de alejarlas de zonas pobladas, insonorización de edificios y colocación de barreras acústicas.
- Elaborar **mapas de ruido** a partir de los datos obtenidos por estaciones de control. En dichos mapas se representan los niveles de intensidad sonora que corresponden a un espacio y tiempo determinados, y que pueden ser variables.



LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Índice

Introducción.	1
1 - La contaminación del aire.	1
Fuentes de contaminación.	1
Naturales.	1
Artificiales o antropogénicas.	1
2 - Tipos de contaminantes.	1
A. Sustancias químicas.	1
1. Contaminantes primarios.	1
2. Contaminantes secundarios.	1
B. Formas de energía.	2
1. Radiaciones ionizantes.	2
2. Radiaciones no ionizantes.	2
3. El ruido.	2
3 - Dispersión de los contaminantes	2
- Características de las emisiones.	2
- Condiciones atmosféricas.	2
- Características geográficas y topográficas.	3
4 - Efectos de la contaminación del aire	4
A. Efectos locales. Formación de nieblas contaminantes. Smog.	4
El smog sulfuroso o húmedo	4
El smog fotoquímico	4
B. Efectos regionales. Lluvia ácida.	5
C. Efectos globales: agujero en la capa de ozono y cambio climático.	5
1. Agujero en la capa de ozono.	5
2. El efecto invernadero.	6
5 - La calidad del aire.	7
Medidas de prevención y corrección.	7
1. Medidas preventivas.	7
2. Medidas correctoras.	7
6 - La contaminación acústica. El ruido.	7
A. Origen y fuentes productoras de ruido.	7
B. Efectos de la contaminación acústica.	8
Alteraciones fisiológicas.	8
Alteraciones psíquicas.	8
Otras alteraciones.	8
C. Soluciones frente a la contaminación acústica	8
1. Acciones preventivas.	8
2. Acciones correctoras.	8