

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Una ciudad, un día: tráfico, humos, ruidos... realidades que nos rodean y con las que convivimos de forma permanente. El empleo de combustibles fósiles, carbón y petróleo, como base energética en nuestro modelo de desarrollo, contribuye al incremento de la contaminación atmosférica.

La contaminación atmosférica es consecuencia de la contaminación química ocasionada por la presencia en el aire de gases y partículas (contaminación del aire) y de una contaminación energética debida, a formas de energía como las radiaciones electromagnéticas (contaminación electromagnética y lumínica) y

las ondas mecánicas generadoras de vibraciones y ruidos (contaminación acústica).

Toda esta serie de factores provocan impactos negativos sobre la salud del ser humano, los recursos, los ecosistemas, la biodiversidad, el clima, los materiales... Para hacer frente a esta situación, hemos de aplicar medidas que prevengan, corrijan y disminuyan la contaminación atmosférica, aunque ello implique cambios en las estructuras sociales y económicas e incluso cambios en los estilos de vida, puesto que sus efectos a corto y largo plazo son ya muy evidentes.





10.1 Contaminación atmosférica

El **aire**, conjunto de gases que forman la atmósfera, es indispensable para el desarrollo de la vida en nuestro planeta, ya que es el **recurso natural** que mayor intercambio tiene con la biosfera, y los seres vivos aerobios somos más dependientes de él (podemos resistir pocos minutos sin respirar). No es un recurso ilimitado, sino un **bien limitado** que debemos utilizar evitando alteraciones en su calidad que pongan en peligro el equilibrio biológico del sistema Tierra al interferir en el ritmo normal de los ciclos biogeoquímicos (de los que dichos gases forman parte) y en sus mecanismos de autorregulación.

Existen distintas definiciones de la contaminación del aire:

- La Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera, define este tipo de contaminación como:

«La presencia en la atmósfera de materias, sustancias o formas de energía que impliquen molestia grave, riesgo o daño para la seguridad o la salud de las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza.»

- Según la Organización Mundial de la Salud (OMS):

«Existe contaminación del aire cuando en su composición aparecen una o varias sustancias extrañas, en determinadas cantidades y durante determinados periodos de tiempo, que pueden resultar nocivas para el ser humano, los animales, las plantas o las tierras, así como perturbar el bienestar o el uso de los bienes.»

A. Fuentes de contaminación

Atendiendo a su origen, las fuentes de contaminación del aire se pueden agrupar en dos tipos: *naturales* y *artificiales* o *antropogénicas*.

- **Naturales.** Comprenden las emisiones de contaminantes generados por la actividad natural de la geosfera, la biosfera, la atmósfera y la hidrosfera. Así:
 - a) Las **erupciones volcánicas**, una de las principales causas de contaminación, aportan a la atmósfera compuestos de azufre (SO_2 , H_2S) y una gran cantidad de partículas que se diseminan por ella como consecuencia de la acción del viento (Fig. 10.1).
 - b) Los **incendios forestales** que se producen de forma natural y que emiten altas concentraciones de CO_2 , óxidos de nitrógeno, humo, polvo y cenizas.
 - c) **Ciertas actividades de los seres vivos**, como los procesos de respiración que incrementan la cantidad de CO_2 ; los procesos de reproducción y floración en plantas anemófilas (las que polinizan a través del aire), como las gramíneas, los olivos y las arizónicas, las cuales producen pólenes y esporas que, al concentrarse en el aire, son la causa de alergias respiratorias conocidas como **polinosis** (se ve afectado más del 20 % de la población en un ambiente urbano); o, finalmente, la descomposición anaerobia (fermentaciones) de la materia orgánica, que genera metano (CH_4).
 - d) Las **descargas eléctricas** generadas durante las tormentas y que dan lugar a la formación de óxidos de nitrógeno al oxidar el nitrógeno atmosférico.
 - e) El **mar**, que emite partículas salinas al aire.
 - f) Los **vientos fuertes** o **vendavales**, que transfieren a otras zonas partículas de las regiones áridas.

“

Cita

«La contaminación no es ninguna novedad en la historia, ni tampoco es exclusivamente producida por el hombre, pero ahora ha llegado a poner en peligro a la biosfera...»

Jaume Terradas



Fig. 10.1. Fuentes naturales de emisión de contaminantes.

@

En internet

Sociedad Española de Alergología e Inmunología Clínica:

www.polenes.com

«Polen». Red de vigilancia de Riesgos Medioambientales. Portal de Salud de la Comunidad de Madrid:

www.madrid.org/polen

• **Artificiales o antropogénicas.** Son consecuencia de la presencia y actividades del ser humano. La mayor parte de la contaminación procede de la utilización de combustibles fósiles (carbónes, petróleo y gas). El problema de la contaminación atmosférica se asocia principalmente a esta causa (Fig. 10.2). Entre las actividades humanas generadoras de contaminación podemos destacar las siguientes:

- En el **hogar**, el uso de calefacciones y otros aparatos domésticos que emplean, como fuentes de generación de calor, combustibles de origen fósil (carbón, gasóleo, gas natural). El mayor o menor grado de contaminación se debe al tipo de combustible utilizado (el carbón es más contaminante que el gas), así como al diseño y estado de conservación de los aparatos empleados.
- En el **transporte**, el automóvil y el avión ocasionan un mayor grado de contaminación. La incidencia del ferrocarril y la navegación es menor, ya que estos suelen estar alejados de los núcleos de población. El grado de contaminación provocada dependerá de la clase de combustible utilizado, 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, 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, el empleo de amplias superficies de regadío (campos de arroz) y la elevada concentración de ganado vacuno provocan un aumento en la atmósfera de gases de efecto invernadero, como el metano (CH_4).
- En la **eliminación de residuos sólidos** mediante los procesos de incineración.

Contaminantes	Partículas	SO_x	CO_x	NO_x	Hidrocarburos
Origen natural	88,7	57,1	90,6	88,7	84,5
Origen humano	11,3	42,9	9,4	11,3	15,5

Tabla 10.1. La contaminación natural comparada con la de origen humano (en porcentaje). (Fuente: Sanz Sa.)

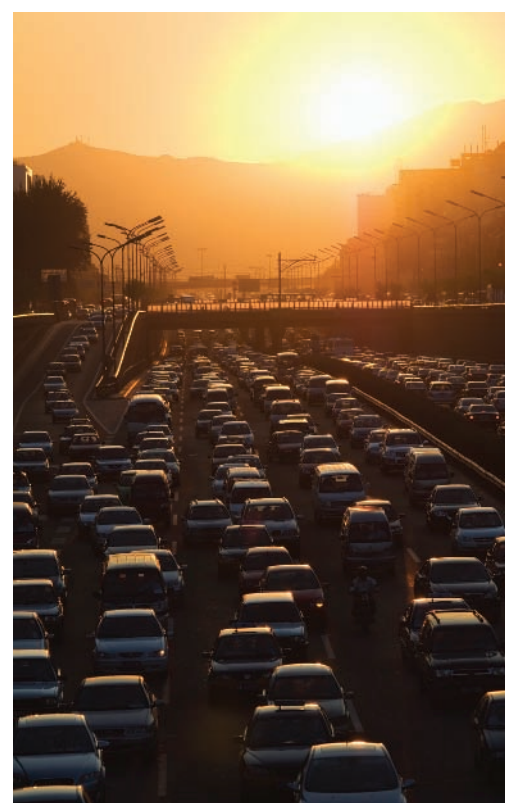


Fig. 10.2. Fuentes artificiales o antropogénicas de emisión de contaminantes.

Cita



«Las grandes aglomeraciones urbanas son las principales causas y víctimas de la contaminación atmosférica.»

Jaume Terradas

ACTIVIDADES

- 1>** Lee el siguiente texto, analiza las frases de Terradas de esta página y la anterior y realiza las siguientes cuestiones:

«Algo que el ciudadano del siglo XXI ama sobre todas las cosas es el coche. En España hay más de 20 millones de vehículos automóviles que han cambiado nuestros hábitos de vida, pero a precio muy alto: una encina proporciona el oxígeno que consumen 10 personas; un automóvil consume el mismo oxígeno que 200 personas necesitan en un día. La lluvia ácida, el efecto invernadero, las enfermedades respiratorias, el cáncer, las alergias..., todo esto conlleva el uso de nuestro nuevo "becerro de oro". Ahora es imposible renunciar a él, pero debemos hacer un uso más racional del mismo».

- Cita algunos contaminantes del aire que deriven del uso del automóvil y propon algunas medidas que permitan disminuir la cantidad de contaminantes generados por este medio de transporte.
- Aporta razones que justifiquen que las aglomeraciones urbanas son causa y víctimas a la vez de la contaminación del aire. ¿Crees que tiene razón Terradas al afirmar que la contaminación del aire pone en peligro a la biosfera? Razona tu respuesta.

Importante



Las **emisiones de origen natural** son más elevadas a nivel global, mientras que las **emisiones de origen humano** lo son a nivel local o regional. La **contaminación antropogénica** es más importante por localizarse en puntos geográficos concretos, como zonas urbanas o industriales, donde se incrementa la concentración de los contaminantes que pueden reaccionar entre sí, formando otros nuevos, y donde la existencia de sumideros como la vegetación o el suelo son menores.



Más datos

Situación admisible de contaminantes (promedio de concentración del contaminante en 24 horas):

SO ₂	125 µg/m ³
H ₂ S	40 µg/m ³
HCl	300 µg/m ³
HF	60 µg/m ³
HC	28 mg/m ³
NO ₂	200 µg/m ³
Partículas (PM ₁₀)	40 µg/m ³
CO	15 mg/m ³

(concentración máxima en 8 h)

O ₃ troposférico	110 µg/m ³
-----------------------------	-----------------------

(valor medio 8 h)



Vocabulario

Los **aerosoles** son partículas que poseen un diámetro inferior a 10 µ. Se utiliza este término para referirse a las dispersiones de sólidos o líquidos en el aire. Los urbanos suelen estar compuestos por nitratos, sulfatos y amonio.



Importante

Para expresar la cantidad de un contaminante en la atmósfera se emplea la concentración en volumen del mismo expresada en unidades de volumen/volumen de aire, como cm³/m³, mm³/m³, ppm (partes por millón) o ppb (partes por billón).

Con mayor frecuencia se utiliza la masa del contaminante por unidad de volumen de aire, que se expresa en µg/m³ o mg/m³.

B. Tipos de contaminantes

La composición química del aire se mantiene prácticamente constante debido a los procesos biogeoquímicos y a las transformaciones cíclicas en los que se integran sus componentes: los ciclos biogeoquímicos del carbono, nitrógeno, oxígeno y azufre especialmente. Estos ciclos se autorregulan mediante diferentes mecanismos, pero las actividades humanas los aceleran, rompen su equilibrio y movilizan las reservas, ocasionando la presencia en la atmósfera de los *contaminantes del aire* (Unidad 4).



Se consideran **contaminantes del aire** a las sustancias químicas y formas de energía que en concentraciones determinadas pueden causar molestias, daños o riesgos a personas y al resto de seres vivos, o bien ser origen de alteraciones en el funcionamiento de 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 o participando en variadas y a veces complejas reacciones químicas. El tiempo de residencia varía dependiendo de la naturaleza de cada contaminante.

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

☐ Sustancias químicas

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

1. Contaminantes primarios. Sustancias de naturaleza y composición química variada, emitidas directamente a la atmósfera desde distintas fuentes perfectamente identificables. Se incluyen dentro de este grupo:

- Las partículas, como los iones, aerosoles y humos.
- Los compuestos de azufre como el dióxido de azufre (SO₂), el trióxido de azufre (SO₃) y el dihidrógeno de azufre (H₂S).
- Óxidos de nitrógeno, como el monóxido de dinitrógeno (N₂O), el monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂).
- Óxidos de carbono, como el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂).
- Compuestos orgánicos, como los hidrocarburos (compuestos orgánicos volátiles, COV), los policlorobifenilos (PCB) y las dioxinas y furanos.
- Los compuestos halogenados, como el cloruro de hidrógeno (HCl), el fluoruro de hidrógeno (HF), los halocarburos y los clorofluorocarbonos (CFC).
- Los metales pesados, como el plomo, el mercurio y el cadmio.
- Los olores.

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

Las características de todos ellos, su origen y su evolución en la atmósfera se recogen en la Tabla 10.2.

Contaminante	Características	Origen	Evolución en la atmósfera
Partículas <ul style="list-style-type: none"> • Polvo • Aerosoles • Nieblas • Humos 	<ul style="list-style-type: none"> • Sustancias sólidas o líquidas. • Tamaño: 0,1 a 1000 μ. • Composición química variada. • Se clasifican por su tamaño: finas, medias y sedimentables o gruesas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aerosoles marinos. • Erosión eólica. • Incendios forestales. • Pólenes de vegetales. • Combustiones industriales y domésticas. • Actividades extractivas (canteras y minas). • Incineración de residuos agrícolas, ganaderos y urbanos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Depósito en el suelo por sedimentación (deposición seca), o por arrastre por la lluvia (deposición húmeda). • Constituyen núcleos de condensación en la formación de gotas de lluvia. • Tiempo de residencia: días, meses o años, según su tamaño.
Compuestos de azufre <ul style="list-style-type: none"> • Óxidos de azufre (SO_2 y SO_3) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gases incoloros. • El SO_2, olor picante y con alto poder corrosivo y muy estable. • El SO_3 es muy reactivo. 	<ul style="list-style-type: none"> • El SO_2 se forma por oxidación del H_2S. • Erupciones volcánicas. • Oxidación del S en combustión de combustibles fósiles en centrales térmicas, calefacciones y vehículos. 	<ul style="list-style-type: none"> • El SO_2, tiempo de residencia de 12 horas a 6 días. • Puede fotooxidarse a SO_3. • Reacciona con el agua de lluvia pasando a ácido sulfúrico. • Depósito sobre la vegetación o el suelo.
<ul style="list-style-type: none"> • Sulfuro de hidrógeno (H_2S) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gas incoloro con fuerte olor desagradable. 	<ul style="list-style-type: none"> • El H_2S en la degradación anaeróbica de la materia orgánica en pantanos y océanos. • Escapes de refinerías de petróleo. • Erupciones volcánicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidación fotoquímica a SO_2.
Óxidos de nitrógeno <ul style="list-style-type: none"> • N_2O 	<ul style="list-style-type: none"> • Gas incoloro con fuerte olor y sabor dulce, soluble en agua, benceno y alcohol. 	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos de desnitrificación del suelo. • Empleo de abonos nitrogenados. • Oxidación fotoquímica. • Combustiones en vehículos automóviles. • Descargas eléctricas en tormentas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidación formando nitritos y nitratos que son arrastados por la lluvia.
<ul style="list-style-type: none"> • NO_2 y NO 	<ul style="list-style-type: none"> • NO_2: gas pardorrojizo, tóxico, olor asfixiante. • NO: gas incoloro, tóxico. • Abundantes en zonas urbanas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Erupciones volcánicas. • Oxidación de N_2 atmosférico en combustiones a elevadas temperaturas en vehículos, centrales térmicas y calefacciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidación fotoquímica (<i>smog</i> fotoquímico).
Óxidos de carbono <ul style="list-style-type: none"> • CO 	<ul style="list-style-type: none"> • Gas incoloro, inodoro, insípido. Tóxico, inflamable. • Muy abundante en atmósfera urbana. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proviene de la oxidación del CH_4 atmosférico. • Disociación de CO_2 a altas temperaturas. • Emisiones oceánicas. • Combustiones incompletas de gasolinas, gasóleo en vehículos. • Refinerías de petróleo y plantas de tratamiento de combustibles fósiles. • Transporte por carretera. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se oxida al reaccionar con radicales hidroxilo ($-\text{OH}$) y con el O_3, sobre todo en la estratosfera. • Incorporación al suelo por la acción de ciertos hongos y plantas superiores.
<ul style="list-style-type: none"> • CO_2 	<ul style="list-style-type: none"> • Gas incoloro e inodoro. No tóxico. • Nutriente esencial de los vegetales. • Regulador de la temperatura terrestre. 	<ul style="list-style-type: none"> • Por oxidación del CO. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se acumula en la atmósfera, incrementando el efecto invernadero.

Tabla 10.2. Características de los contaminantes primarios. (Continúa.)



Contaminante	Características	Origen	Evolución en la atmósfera
Compuestos orgánicos <ul style="list-style-type: none"> Hidrocarburos o compuestos orgánicos volátiles (COV) > de 5 átomos de carbono. Metano (CH₄) 	<ul style="list-style-type: none"> Abundantes en ciudades y zonas industriales. Son gases a temperatura ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> Refinerías de petróleo. Combustiones en motores de gasolina. Empleo de disolventes. Incendios forestales. El CH₄ de zonas pantanosas, arrozales, pozos petrolíferos. 	<ul style="list-style-type: none"> Transformación en oxidantes fotoquímicos, al reaccionar con radicales libres. Tiempo de residencia, años (los de bajo peso molecular), días o meses (los de alto peso molecular).
<ul style="list-style-type: none"> Policlorobifenilos (PCB) 	<ul style="list-style-type: none"> Líquidos inertes, insolubles en agua. Muy estables. Aislantes eléctricos. Tóxicos. 	<ul style="list-style-type: none"> Tratamiento de productos químicos clorados. 	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo de residencia, años.
<ul style="list-style-type: none"> Dioxinas y furanos 	<ul style="list-style-type: none"> Poco solubles en agua. No volátiles. Se descomponen por la acción de la luz y en presencia de hidrógeno. Tóxicos. 	<ul style="list-style-type: none"> Incineración de residuos. 	<ul style="list-style-type: none"> Depósito en el suelo y agua. Bioacumulación a través de las cadenas tróficas.
Compuestos halogenados <ul style="list-style-type: none"> Cl₂ HCl HF CFC (freones y halones) 	<ul style="list-style-type: none"> El Cl₂ gas o formando partículas. Tóxico. Irritante. El HF corrosivo. CFC compuestos sintéticos. Gases estables, no tóxicos e inflamables. 	<ul style="list-style-type: none"> El Cl₂ de gases de automóviles. Erupciones volcánicas. El HCl industrias del aluminio. El HF de industrias del vidrio y cerámica. CFC fluidos refrigerantes. propelentes de aerosoles y agentes espumantes en espumas aislantes. 	<ul style="list-style-type: none"> El Cl₂ interviene en reacciones fotoquímicas de destrucción del ozono. El HCl retiene el Cl impidiendo su reacción con el ozono. Los CFC permanecen cerca de un siglo en la atmósfera. Liberan átomos de Cl que destruyen la capa de ozono.
Metales pesados <ul style="list-style-type: none"> Plomo (Pb) Cadmio (Cd) Mercurio (Hg) 	<ul style="list-style-type: none"> Densidad alta. Son muy tóxicos. Presentes en cantidades muy pequeñas. No son metabolizados ni degradados por los seres vivos. 	<ul style="list-style-type: none"> El Pb en gases de escape en vehículos que emplean gasolina con plomo como antidetonante. (En la actualidad prohibidas.) El Cd en industrias metalúrgicas, extracción de metales. Incineración de residuos. El Hg en minería del carbón y actividades agrícolas. 	<ul style="list-style-type: none"> Deposición seca por sedimentación como partículas al suelo en atmósferas urbanas. Se integran en el suelo, agua y se acumulan en las cadenas tróficas.
Olores	<ul style="list-style-type: none"> Estímulos captados por el olfato y que producen malestar físico. Partículas de distintas sustancias. 	<ul style="list-style-type: none"> Erupciones volcánicas. Vertederos. Aguas y suelos contaminados. Industrias alimenticias. Industrias de papel. 	<ul style="list-style-type: none"> Difusión por la atmósfera.

Tabla 10.2. Características de los contaminantes primarios. (Continuación.)

2. Contaminantes secundarios. Se originan a partir de los contaminantes primarios mediante reacciones químicas que tienen lugar en la atmósfera, formando otros contaminantes nuevos por transformación de los ya existentes. Los más importantes son el SO_3 , NH_2 , SO_4 , HNO_3 , O_3 (ozono troposférico) y los PAN (nitratos de peroxiacetilo).

Los contaminantes secundarios no provienen directamente de los focos emisores. Las características que tienen, su origen y su evolución en la atmósfera se recogen en la Tabla 10.3 y la Figura 10.3.

Contaminante	Características	Origen	Evolución en la atmósfera
• Trióxido de azufre (SO_3).	• Gas incoloro, se condensa fácilmente.	• Se forma a partir de SO_2 .	• Reacciona con el ión hidroxilo y pasa a ácido sulfúrico.
• Trióxido de nitrógeno (NO_3).	• Gas fácilmente oxidable.	• Oxidación por el ozono a partir de NO_2 .	• Interviene en reacciones fotoquímicas de formación de <i>smog</i> .
• Ácido sulfúrico (H_2SO_4).	• Son sustancias con un elevado poder corrosivo.	• Productos finales de la oxidación de compuestos atmosféricos que contienen azufre o nitrógeno.	• Precipitan como lluvia ácida.
• Ácido nítrico (H_2NO_3).	• Son agentes oxidantes.		
Oxidantes fotoquímicos • Ozono troposférico (O_3).	• Gas de color azul pálido, irritante y picante. • Elevado poder oxidante.	• Intrusiones estratosféricas. • Erupciones volcánicas. • Descargas eléctricas en tormentas. • Fermentaciones. • Reacciones fotoquímicas a partir de óxidos de nitrógeno y COV generados por el tráfico urbano.	• Reacciona con otros contaminantes. • Componente del <i>smog</i> fotoquímico.
• Nitratos de peroxiacetilo (PAN)	• Sustancias de gran poder oxidante.	• Reacciones fotoquímicas a partir de COV.	• Componentes del <i>smog</i> fotoquímico.

Tabla 10.3. Características de los contaminantes secundarios.

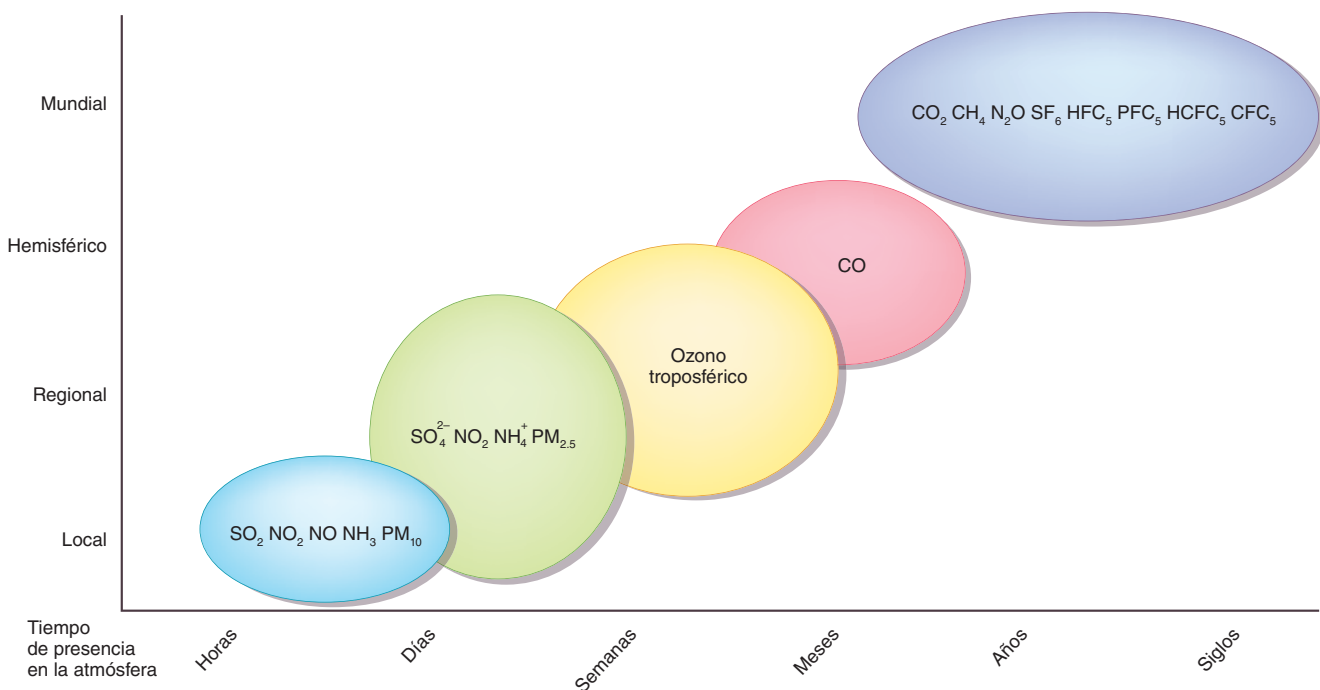


Fig. 10.3. Permanencia de los contaminantes en la atmósfera. (Fuente: GEO4.)



□ 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 una serie de partículas u ondas electromagnéticas que pueden ionizar átomos o moléculas de la materia sobre la que actúan directamente, alterando el equilibrio químico de su estructura y sus funciones. Estas radiaciones, que tienen gran incidencia en la atmósfera y en el ser humano, y por tanto son contaminantes, se clasifican en cuatro tipos: radiaciones alfa, beta, gamma y rayos X.

Las **radiaciones alfa y beta** son partículas cargadas eléctricamente y se diferencian entre sí por su poder de penetración en la materia: las alfa poseen un poder de penetración menor (una delgada hoja de papel las detiene), mientras que las beta tienen un poder mayor (necesitan al menos una lámina de aluminio para ser retenidas). Los **rayos X** y las **radiaciones gamma**, al ser ondas electromagnéticas, poseen un alto poder de penetración (decímetros para los rayos X y metros para las 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. Son fuentes de estas radiaciones ciertas actividades médicas de tratamiento y exploración (rayos X, gammagrafías...), escapes en centrales nucleares, transporte de material radiactivo, fábricas de concentrados de uranio y actividades de investigación, que emplean isótopos radiactivos.

Cuando las radiaciones ionizantes alcanzan a los seres vivos y son absorbidas por ellos, pueden afectar a los procesos biológicos y provocar malformaciones genéticas, cáncer, etc.; pero también cabe destacar el uso que se hace de ellas bajo control para combatirlos. El grado de los efectos provocados está en función de la energía absorbida, el tipo de radiación, el tiempo de exposición y la parte del organismo afectada.

2. Radiaciones no ionizantes. Son ondas electromagnéticas que no modifican la estructura de la materia al no provocar 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 (Fig. 10.4). Son las radiaciones ultravioleta (producidas por el Sol, lámparas bronceadoras, tubos fluorescentes...), radiaciones infrarrojas (generadas por cuerpos incandescentes, la propia Tierra), radiofrecuencias (generadas al hacer oscilar electrones en antenas de radio) y microondas (empleadas en comunicación vía satélite, transporte de información en radiodifusión, televisión, telegrafía y telefonía) (Fig. 10.5). Los efectos que provocan dependen de la intensidad del campo electromagnético generado, así como del tiempo de exposición, y pueden ser alteraciones del sistema nervioso (estrés, ansiedad, cefaleas, insomnio...) o trastornos hormonales e inmunológicos, elevación de la temperatura corporal e inducción de corrientes eléctricas en los tejidos de los seres vivos.

3. Ruido. Se considera en la actualidad un tipo especial de contaminación atmosférica con una gran incidencia sobre las poblaciones. Más adelante en esta unidad, trataremos el ruido como contaminación acústica, en el Apartado 10.3.



Fig. 10.4. Fuentes emisoras de radiaciones no ionizantes.

+ Más datos

El fenómeno de la radiactividad fue descubierto por Becquerel en 1896 y profundizaron en su estudio los esposos Curie. Rutherford identificó los tres tipos de radiaciones: alfa, beta y gamma.

* Recuerda

La **radiactividad** es la emisión de partículas o radiaciones electromagnéticas que se dan en la desintegración espontánea de núcleos de determinados átomos. Puede tener un origen natural o artificial, como los rayos X que proceden de la transformación de la estructura electrónica del átomo.



Fig. 10.5. El aumento de los focos emisores de ondas electromagnéticas añade nuevos factores de riesgo de difícil evaluación.

ACTIVIDADES

2> El gráfico de la Figura 10.6 muestra la variación diaria de los niveles de CO en una ciudad norteamericana en días laborables.

- Analiza y comenta las variaciones en la concentración de CO representadas en la gráfica.
- ¿Cuáles son las fuentes naturales y antropogénicas de CO?
- Indica cómo evoluciona el CO una vez emitido a la atmósfera.
- Cita los contaminantes más frecuentes en una megaciudad.
- Consulta en la Unidad 2 la Tabla 2.1 de indicadores ambientales y escribe dos indicadores de presión, dos de estado y dos de respuesta que se empleen para obtener información sobre el estado ambiental del aire de una gran ciudad.
- ¿Qué principio se debe aplicar en relación con el volumen de CO emitido a la atmósfera para alcanzar un desarrollo sostenible? Enúncialo.

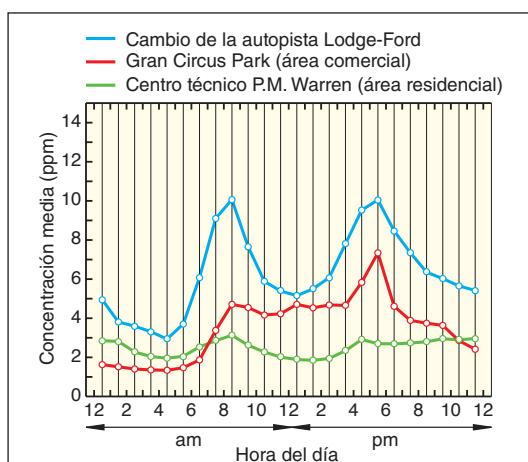


Fig. 10.6.

3> La gráfica de la Figura 10.7 muestra la exposición a los contaminantes atmosféricos más comunes en los países del este y del oeste de Europa.

- Indica el grado de exposición a partículas en suspensión, SO_2 y NO_2 , a que están sometidas las poblaciones del este y oeste de la UE.
- Nombra las fuentes y el origen de la presencia en la atmósfera de partículas en suspensión, SO_2 y NO_2 .
- La concentración de partículas de plomo en el aire de las ciudades europeas ha ido disminuyendo durante el último decenio. ¿Sabrías indicar alguna posible causa que explique este hecho?

4> Lee el siguiente texto y responde a las cuestiones:

El ozono, un gas con doble vida

«Cuestión de altura. El ozono que se genera en la estratosfera, por encima de los 12 000 metros de altitud, protege la Tierra de la radiación excesiva de los rayos ultravioleta; por eso, los científicos están preocupados por los agujeros que se producen en esta capa, sobre todo en la Antártida. Frente a ese ozono benéfico existe otro nocivo: es el que se genera a baja altura, en la troposfera, y que provoca una contaminación típicamente urbana, cuya fuente principal son los coches.»
(Fuente: *El País*.)

- ¿Qué diferencias existen entre el O_3 estratosférico y el O_3 troposférico? Explica el origen de cada uno de ellos.
- ¿Qué manifestaciones de la contaminación atmosférica se relacionan con ellos?
- Indica los efectos que sobre la salud humana provoca el O_3 troposférico.

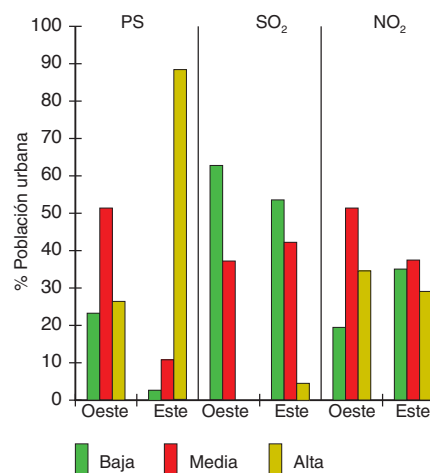


Fig. 10.7. (Fuente: *GE03*.)

5> Consulta las Tablas 10.2 y 10.3 y contesta a las siguientes cuestiones:

- Indica las características de los siguientes contaminantes: metales pesados, dioxinas y furanos, policlorobifenilos.
- ¿Cuál es la evolución en la atmósfera de los siguientes contaminantes: ozono troposférico; metano; metales pesados; dioxinas y furanos?
- Observa la Figura 10.3 y nombra contaminantes que permanecen en la atmósfera: días, semanas, meses o años, indicando el alcance de los efectos que genera cada uno de ellos.



ACTIVIDADES

- 6> Lee el siguiente texto y contesta las cuestiones que se proponen.

«Contaminación electromagnética»

En los últimos 50 años han proliferado los campos electromagnéticos artificiales, especialmente los de baja frecuencia, originando un fenómeno de contaminación por radiación electromagnética. La incidencia ocasionada por este tipo de campos ha aumentado recientemente debido a la extensión de los servicios de telefonía móvil, que requieren un elevado número de instalaciones radioeléctricas para alcanzar buenos niveles de calidad.» (Fuente: C. Orozco)

- ¿Qué tipo de contaminantes son las radiaciones electromagnéticas? Nombra las fuentes de emisión.
- Enumera los posibles efectos que puede ocasionar la exposición a los diferentes tipos de radiaciones: ionizantes y no ionizantes.
- ¿De qué factores depende el tipo y grado de los efectos provocados por las radiaciones electromagnéticas?

- 7> Lee el siguiente texto y contesta las preguntas.

«Los fabricantes de automóviles argumentan, con razón, que los nuevos modelos de coches consumen menos combustibles y emiten menos gases. Sin embargo, en la práctica, los avances técnicos no han conseguido evitar que el problema de contaminación del aire provocado por el automóvil sea uno de los mayores problemas ambientales en la actualidad.» (Adaptado de M. Ludevid.)

- Busca información en diversas fuentes y nombra avances técnicos que la industria del automóvil esté aplicando actualmente y que vayan encaminados a la reducción de las emisiones de contaminantes.
- Expón algunas razones que hacen que, a pesar de las innovaciones introducidas en los nuevos modelos de automóviles, el problema de contaminación generado por su uso siga incrementándose.
- Propón medidas encaminadas a reducir la contaminación atmosférica generada por el uso masivo del automóvil.

- 8> Las gráficas a) y b) de la Figura 10.8 muestran las emisiones de CO₂ en diferentes zonas del mundo.

- ¿Qué tipo de contaminante es el CO₂?
- Consulta los ciclos biogeoquímicos. ¿Cuáles son las fuentes naturales de CO₂? ¿Y las fuentes antropogénicas de la emisión de CO₂?

- Analiza, a la vista de las gráficas, las diferencias observadas en relación a las emisiones de CO₂ por parte de los diferentes países e indica las posibles causas de las diferencias observadas.
- ¿Cómo pueden los países desarrollados reducir las emisiones de CO₂ manteniendo sus niveles de desarrollo?
- ¿Qué es el comercio de emisiones de CO₂? Explica en qué consiste usando un ejemplo de dos países implicados. ¿Qué influencia tiene esta posibilidad desde el punto de vista ambiental y social?
- ¿Qué influencia tiene esta posibilidad desde el punto de vista ambiental y social?
- Busca información en Internet de los últimos acuerdos a nivel internacional sobre reducción de emisiones de CO₂ y elabora un pequeño informe.
- Explica los efectos que está provocando el incremento de CO₂ en la atmósfera.

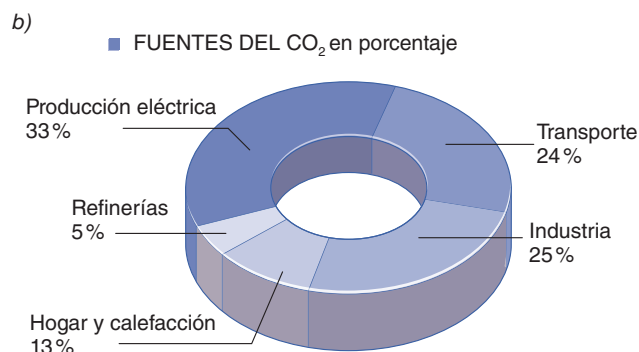
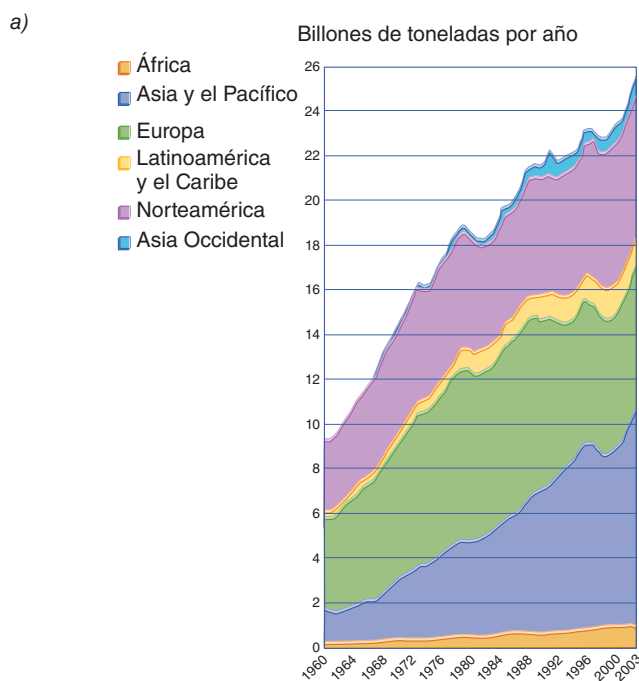


Fig. 10.8. Emisiones (a) y fuentes (b) de CO₂. (Fuente: GEO4, pág. 60, sección «Estado y tendencias del medio ambiente».)

C. Dispersión de los contaminantes

Existen una serie de elementos que intervienen en los procesos de contaminación del aire. La Figura 10.9 nos muestra los mecanismos de este tipo de contaminación.

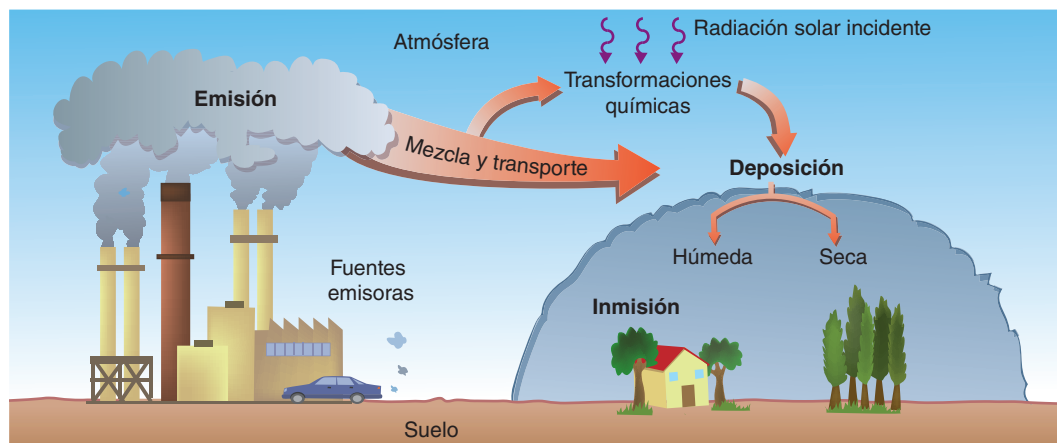


Fig. 10.9. Mecanismos de la contaminación atmosférica. (Fuente: C. Orozco.)

Así podemos observar que el primer proceso corresponde a la *emisión* de contaminantes, cuyo nivel es variable en función de las características de los focos emisores y de las condiciones en que dicha emisión se produce.

➔ **Emisión** es la cantidad de contaminantes que vierte un foco emisor a la atmósfera en un periodo de tiempo determinado.

Los valores de emisión se miden a la salida de la fuente emisora. La evolución de los contaminantes en la atmósfera continúa a través de su transporte, difusión, mezcla o acumulación (mecanismos sumidero), procesos llevados a cabo por los fenómenos meteorológicos que determinan la capacidad dispersante de la atmósfera.

Por otro lado tenemos el conjunto de reacciones químicas que dan lugar a la transformación de los contaminantes, puesto que la atmósfera es un medio oxidante, que recibe energía solar y contiene sustancias químicas de alto poder oxidante (radicales hidroxilo u otros radicales libres).

El resultado final de estos procesos permite establecer los valores de inmisión de los contaminantes, que nos indicarán la calidad del aire.

➔ **Inmisión** es la cantidad de contaminantes presentes en una atmósfera determinada, una vez que han sido transportados, difundidos, mezclados en ella y a los que están expuestos los seres vivos y los materiales que se encuentran bajo su influencia.

Si los niveles de inmisión no son adecuados, disminuye la calidad del aire y se originan los efectos negativos sobre los distintos receptores: el ser humano, los animales, los vegetales, los ecosistemas en su conjunto.

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

Vocabulario

a, b, c

Nivel de contaminación: cantidad de un contaminante en el aire o su depósito en superficie en un periodo de tiempo determinado.

Umbral de información: nivel a partir del cual una exposición breve a un contaminante supone un riesgo para la salud de población vulnerable y requiere informar a la población.

Umbral de alerta es el nivel de exposición que supone un riesgo para toda la población y requiere la adopción de medidas inmediatas.



Fig. 10.10. Fuente emisora de humos y gases.



a, b, c Vocabulario

Turbulencia: variaciones en la velocidad y dirección de los vientos.

¿Sabías que...?

Las situaciones anticiclónicas o de estabilidad atmosférica dificultan la dispersión de los contaminantes y aumentan los niveles de inmisión de los mismos. Las situaciones ciclónicas o de borrascas o de inestabilidad atmosférica facilitan la dispersión de la contaminación.

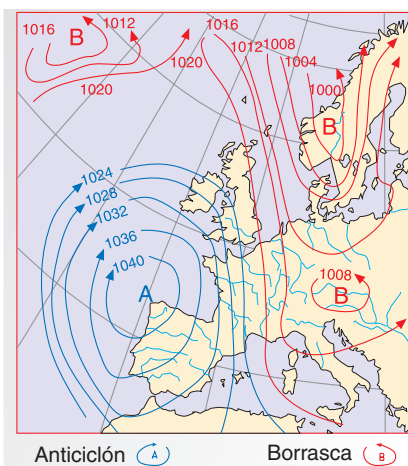


Fig. 10.11. Mapa del tiempo que muestra una situación anticiclónica sobre la península Ibérica.

Responde

Observa la Figura 10.11. ¿Qué condiciones meteorológicas (presión, viento y nubes) se esperan de la situación atmosférica que aparece sobre la península Ibérica? ¿Por qué las situaciones anticiclónicas dificultan la dispersión de los contaminantes?

Las 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 y sus características fisicoquímicas (la temperatura de emisión y la velocidad de salida, dado que a una mayor velocidad existe más posibilidad de atravesar las capas de inversión).

Cuando la temperatura de emisión de un gas es mayor que la del medio, el gas asciende y se facilita su 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.

Las condiciones atmosféricas

La situación de la atmósfera determina el estado y movimiento de las masas de aire, lo que a su vez, como se ha visto en la Unidad 8, condiciona la estabilidad o inestabilidad atmosféricas, que facilitan o dificultan la dispersión de la contaminación.

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

- **Temperatura del aire y sus variaciones con la altura** (gradientes verticales de temperatura), que determinan los movimientos de las masas de aire y, por tanto, las condiciones de estabilidad o inestabilidad atmosféricas (Fig. 10.11). Asimismo, estas variaciones verticales de temperatura pueden dar lugar a situaciones de inversión térmica, como ya se ha visto en la Unidad 8, de las capas fluidas, lo que dificulta la dispersión de la contaminación.
- **Vientos**, relacionados con la dinámica horizontal atmosférica, elementos de gran importancia en la dispersión de contaminantes, en función de sus características: 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, mientras que la turbulencia provoca una acumulación de contaminantes.
- **Precipitaciones**, que producen un efecto de lavado sobre la atmósfera al arrastrar parte de los contaminantes al suelo. Las condiciones atmosféricas de bajas presiones que suelen acompañar a las precipitaciones favorecen la dispersión de contaminantes.
- **Insolación**, que favorece las reacciones entre los precursores de los contaminantes secundarios, aumentando la concentración de los mismos.

Características geográficas y topográficas

La situación geográfica y el relieve tienen una influencia en el origen de brisas (movimiento de las masas de aire de origen local), que arrastran los contaminantes o provocan su acumulación. La incidencia de este fenómeno es diferente según las zonas en que se produzca y sus características.

- En las **zonas costeras** se originan sistemas de brisas marinas (revisa la Unidad 8), que durante el día desplazan los contaminantes hacia el interior. Durante la noche, en cambio, al invertirse la circulación de las mismas, la contaminación se desplaza hacia el mar, en un movimiento cíclico que se repite cada día (Fig. 10.12).

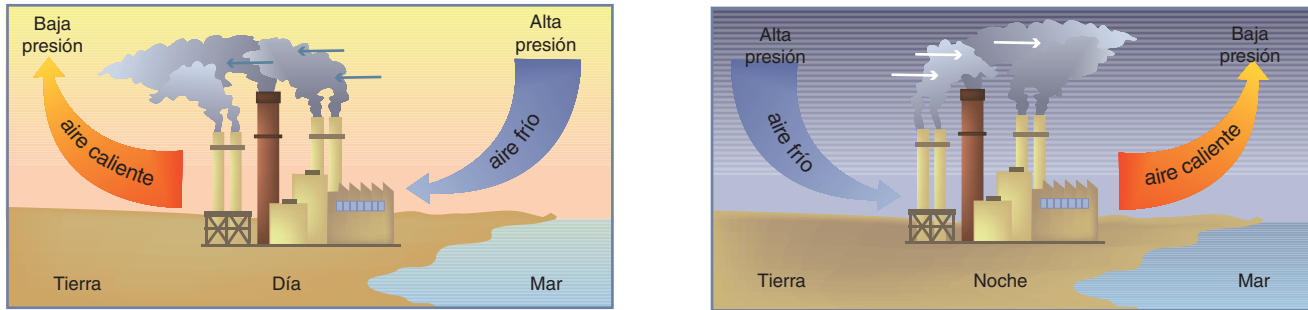


Fig. 10.12. Sistema de brisas marinas y efectos sobre los contaminantes.

- En las **zonas de montaña** se generan las llamadas brisas de ladera y de valle, como consecuencia del diferente calentamiento de las laderas y valles y del periodo día-noche. Durante el día, la radiación solar calienta las laderas y estas calientan a su vez las masas de aire, generándose una corriente ascendente de aire caliente que se desplaza por las laderas desde el valle hacia las cumbres (brisas de ladera), 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, la temperatura de las laderas es menor y se origina una corriente descendente de aire frío desde las cumbres hacia el valle (brisas de valle), que da lugar a la misma situación en relación con la concentración de los contaminantes. Además, las laderas de las montañas son un obstáculo para el movimiento de las masas de aire, favoreciendo la acumulación de contaminantes (Fig. 10.13).

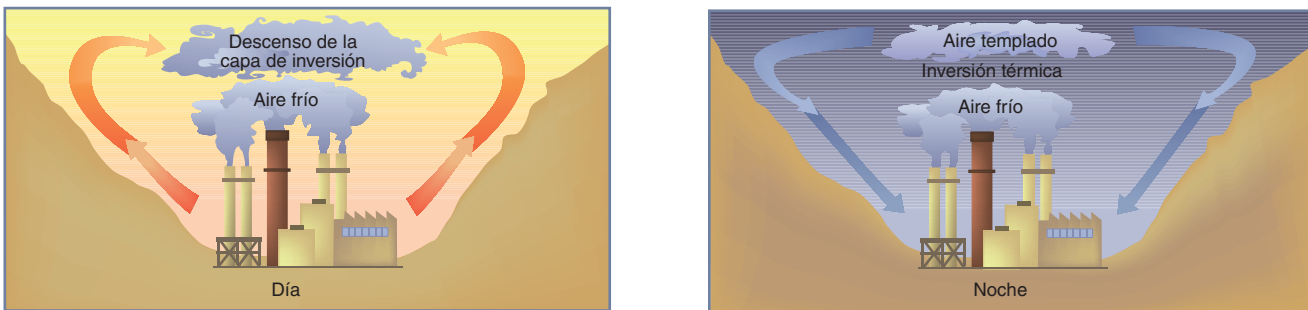


Fig. 10.13. Esquema de la formación de brisas de ladera y de valle.

- La **presencia de masas vegetales** disminuye la cantidad de contaminación en el aire, al frenar la velocidad del viento, facilitando la deposición de partículas que quedan retenidas en las hojas, de forma mayoritaria. Además, la vegetación absorbe CO_2 para realizar la fotosíntesis, actuando como un sumidero, y por tanto con una función reguladora del mismo (como ya se ha estudiado en el ciclo biogeoquímico del carbono en la Unidad 2).
- La **presencia de núcleos urbanos** influye en el movimiento de las masas de aire, disminuyendo o frenando su velocidad (presencia de edificios) y formando turbulencias (disposición de las calles). Además aparece el efecto denominado **isla de calor** (Fig. 10.14), 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, automóviles, calefacciones y el desprendido por edificios y pavimento. Ello favorece la aparición de las brisas urbanas, circulaciones cíclicas de las masas de aire frío de la periferia (se deben al ascenso del aire caliente del interior de la ciudad, provocando una situación de bajas presiones que atraen las masas de aire frío desde la periferia hasta el interior). Estos hechos contribuyen a dificultar la dispersión de los contaminantes, favoreciendo su concentración y originando la típica formación urbana denominada **cúpula de contaminantes**, que se ve incrementada por situaciones anticiclónicas y que puede ser eliminada por la llegada de frentes fríos que aporten vientos y lluvias a la ciudad.

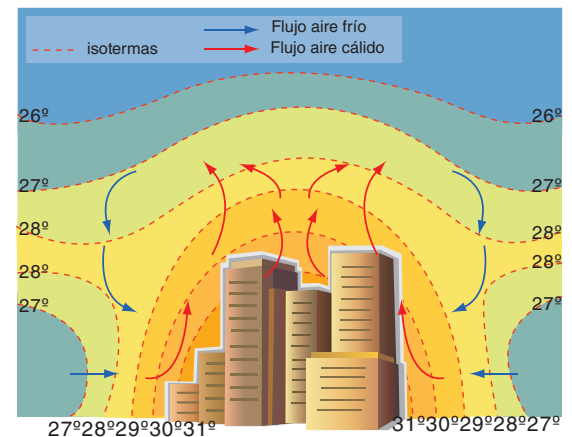


Fig. 10.14. Formación de la isla de calor y aparición de brisas urbanas.



ACTIVIDADES

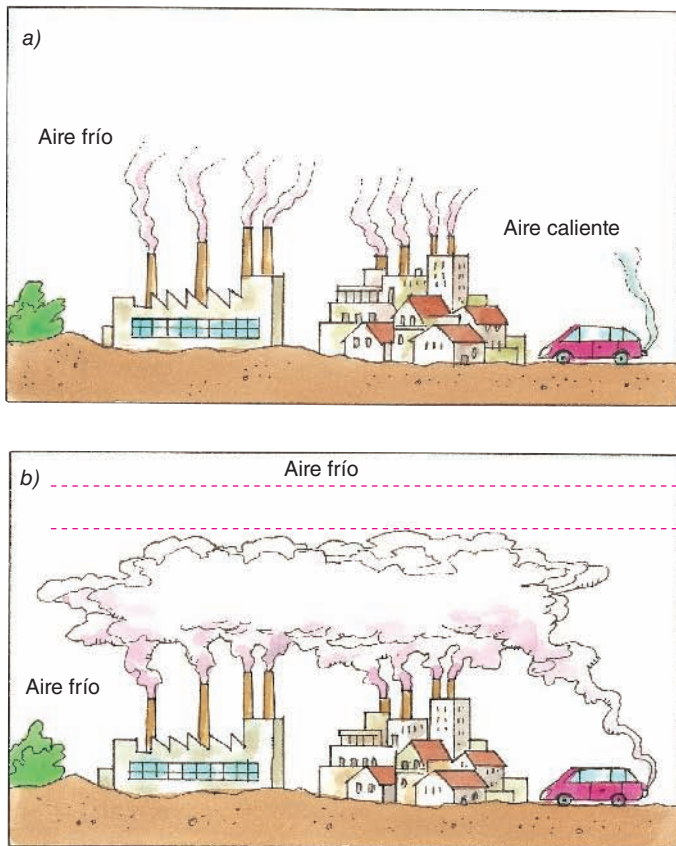


Fig. 10.15.

9> Observa los dibujos de la Figura 10.15 y contesta a las cuestiones que se plantean:

- ¿Qué diferencias se observan entre las situaciones representadas en los dibujos en relación con la dispersión de contaminantes en la atmósfera?
- ¿A qué situaciones meteorológicas corresponde cada una de ellas?

10> La Figura 10.16 nos presenta una situación relacionada con la contaminación del aire:

- De qué efecto se trata? Razona tu respuesta.
- Describe en qué consiste, así como las condiciones y lugares que favorecen su aparición.
- Explica la evolución de los contaminantes en la atmósfera en dicha situación.
- ¿Qué soluciones aportarías para combatir o minimizar el efecto descrito?

11> Observa la Figura 10.9, que presenta los mecanismos que intervienen en la contaminación atmosférica y responde a las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la diferencia entre emisión e inmisión de un contaminante del aire?

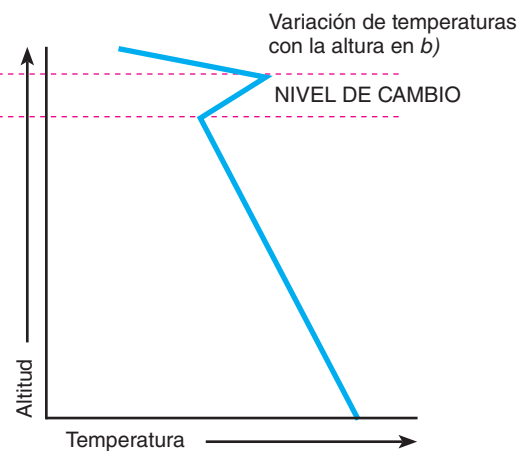
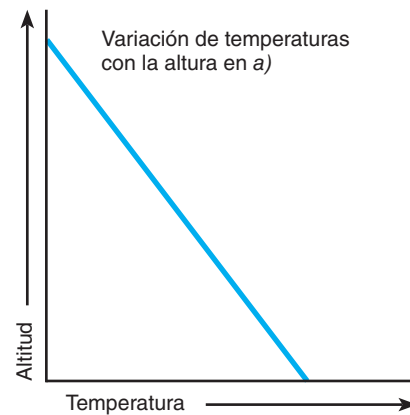


Fig. 10.16.

- Explica brevemente cómo se puede transformar los contaminantes, una vez emitidos a la atmósfera. Describe un ejemplo concreto que hayas estudiado con anterioridad.
- ¿Qué sucede cuando se sobrepasan los niveles permitidos de inmisión de los contaminantes atmosféricos?
- Indica qué medidas han de adoptarse si se alcanza el umbral de alerta, en una localidad, de un contaminante atmosférico.

D. Efectos de la contaminación del aire

Los cambios en las proporciones normales de los componentes del aire ocasionan efectos negativos en los seres vivos, en los materiales y en los ecosistemas que pueden valorarse a corto plazo (por ejemplo, los daños en la salud humana) o a largo plazo (como el cambio climático).

Si tenemos en cuenta el radio de acción, podemos hablar de **efectos locales** (los ocasionados por cada uno de los contaminantes), **efectos regionales** (la lluvia ácida) o **efectos globales**, que afectan a todo el sistema terrestre (el cambio climático).

Los factores que influyen en el grado y el tipo de efectos son la clase de contaminantes, su concentración y el tiempo de exposición a los mismos; la sensibilidad de los receptores y las posibles reacciones de combinación entre contaminantes (sinergias) que provocan un aumento de los efectos.

Los efectos producidos por la presencia de cada uno de los contaminantes suponen riesgos para los vegetales, los animales, la salud de las personas y los materiales. Todos ellos se recogen en la Tabla 10.4.



Fig. 10.17. Hojas de pino de Noruega aquejadas de clorosis o amarilleamiento.

Tipo de contaminante	Animales/ser humano	Vegetales	Materiales
<ul style="list-style-type: none"> • Partículas 	<ul style="list-style-type: none"> • Irritación de las membranas internas en las vías respiratorias. • Disminución de la capacidad respiratoria. 	<ul style="list-style-type: none"> • Obstrucción de los estomas. • Reducción de la fotosíntesis. • Necrosis y caída de hojas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Erosión por abrasión en edificios. • Deposición sobre edificios.
<ul style="list-style-type: none"> • Compuesto de azufre: SO₂, SO₃, H₂S 	<ul style="list-style-type: none"> • El SO₂ produce irritación en las mucosas y en los ojos. • El H₂S produce malos olores. 	<ul style="list-style-type: none"> • El SO₂ produce pérdida de color en las hojas (clorosis) y necrosis. • Reduce el crecimiento y rendimiento de vegetales. 	<ul style="list-style-type: none"> • El SO₂ en la caliza provoca su demolición. En el papel causa su amarilleo y en el cuero pérdida de flexibilidad y resistencia. En los metales provoca corrosión.
<ul style="list-style-type: none"> • Compuestos orgánicos: – Hidrocarburos: COV – PCB – Dioxinas y furanos 	<ul style="list-style-type: none"> • Producen irritación de los ojos y de las vías respiratorias. • PCB y dioxinas alteran el sistema reproductor. • Dioxinas y furanos poseen efectos cancerígenos y mutagénicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los efectos son menores que los que ocasionan los oxidantes de los que son precursores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Efectos en menor grado que los ocasionados por los oxidantes fotoquímicos.
<ul style="list-style-type: none"> • Óxidos de nitrógeno: NO₂, NO, N₂O 	<ul style="list-style-type: none"> • El NO₂ produce enfermedades de las vías respiratorias, agravamiento de procesos asmáticos. Es tóxico para algunas especies. • Irritaciones oculares, de garganta, cefaleas. 	<ul style="list-style-type: none"> • El NO₂ anula el crecimiento de algunos vegetales (tomates, judías, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> • El NO₂ produce pérdida de color en los tejidos de la ropa.
<ul style="list-style-type: none"> • Óxidos de carbono: CO₂, CO 	<ul style="list-style-type: none"> • El CO es tóxico, interfiere en el transporte de oxígeno a las células. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poco probable un impacto significativo del CO. 	<ul style="list-style-type: none"> • Efectos poco significativos.

Tabla 10.4. Principales efectos producidos por los contaminantes del aire. (Continúa.)



Tipo de contaminante	Animales/ser humano	Vegetales	Materiales
<ul style="list-style-type: none"> • Compuestos halogenados: Cl₂, HCl, HF, CFC 	<ul style="list-style-type: none"> • El cloro es tóxico y provoca irritación en las mucosas. • El HF se acumula en los huesos. 	<ul style="list-style-type: none"> • El HF se acumula en la hierba, pasando al resto de la cadena trófica. • El HF provoca pérdida de color en las hojas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Efectos no determinados o encontrados.
<ul style="list-style-type: none"> • Metales pesados 	<ul style="list-style-type: none"> • El plomo produce insuficiencia respiratoria, alteraciones neurológicas y renales. • El cadmio ocasiona problemas respiratorios y cardiovasculares. • El mercurio, daños en el sistema nervioso central y riñones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bioacumulación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Efectos no determinados o encontrados.
<ul style="list-style-type: none"> • Oxidantes fotoquímicos: Ozono (O₃) 	<ul style="list-style-type: none"> • Por su alta capacidad oxidante, provoca irritaciones en nariz y garganta; asimismo produce fatiga y falta de coordinación. 	<ul style="list-style-type: none"> • El O₃ y los PAN producen manchas blancas en la vegetación. • Necrosis de las hojas. • Disminución del crecimiento. • Disminución de la reproducción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Producen desintegración del caucho y corrosión de metales.

Tabla 10.4. Principales efectos producidos por los contaminantes del aire. (Continuación.)

A continuación describimos los efectos producidos por la contaminación del aire según su radio de influencia.

☐ Efectos locales. Formación de nieblas contaminantes. *Smog*

Características	Fotoquímico	Sulfuroso
Temperatura	24 °C a 32 °C	-1 °C a 4 °C
Humedad relativa	Inferior a 50 %	85 %
Situación atmosférica	Soleada y anticiclónica	Anticiclónica y niebla
Viento	Calma	Calma
Visibilidad	0,8 a 1,6 km	30 m
Época del año	Agosto-septiembre	Diciembre-enero
Combustible	Petróleo	Carbón y derivados del petróleo
Componentes	O ₃ , NO, NO ₂ , PAN radicales libres, aldehídos	SO ₂ , hollín

Tabla 10.5. Tipos de smogs. (Fuente: Catalá, modificada.)

Los efectos locales más importantes son los ocasionados por cada uno de los contaminantes y la formación de nieblas contaminantes o *smog*.

La formación de nieblas contaminantes o *smog* (*smoke* = humo y *fog* = niebla) es otra de las manifestaciones típicas de la contaminación urbana en la que podemos observar la relación entre condiciones atmosféricas y contaminación del aire.

Consideraremos la existencia de dos tipos de *smog* (Tabla 10.5): *sulfuroso* o *húmedo* y *fotoquímico*, que en realidad se corresponde con el proceso de «contaminación fotoquímica»; pero, como contribuye a agravar el problema del smog, es considerado un tipo del mismo.

El **smog sulfuroso** o húmedo se conoció y estudió a partir del grave proceso de contaminación sufrido en Londres en 1952, en el que murieron unas 4 700 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.

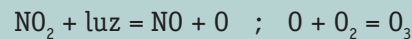
Se manifiesta como neblina de color pardo-gris sobre la ciudad y produce alteraciones respiratorias que agravan los procesos asmáticos.

El **smog fotoquímico** (Fig. 10.18) tiene su origen en la presencia en la atmósfera de oxidantes fotoquímicos (O_3 , PAN, aldehídos) que surgen de las reacciones de óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y oxígeno con la energía proveniente de la radiación solar ultravioleta.

Este proceso se ve favorecido por situaciones anticiclónicas, fuerte insolaación y vientos débiles que dificultan la dispersión de los contaminantes. El **smog fotoquímico** se caracteriza por la presencia de bruma, formación de O_3 , irritación ocular, daños en la vegetación y materiales como cuero y fibras sintéticas.

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:

1. Formación de ozono a partir del ciclo fotolítico del NO_2 (Fig. 10.19).



Si no están presentes los hidrocarburos, el O_3 reacciona con NO para formar de nuevo NO_2 . No se desequilibra el ciclo y no se acumula O_3 .

2. Formación de radicales libres activos a partir de radicales de hidrocarburos, que producen la oxidación del NO a NO_2 .

Si existen hidrocarburos (HC), el ciclo fotolítico se desequilibra al reaccionar sus radicales orgánicos oxidados (formados en su reacción con el oxígeno) con el NO , oxidándolo y originando radicales libres activos. Así aumenta la concentración de ozono (O_3), puesto que no participa en la oxidación del NO a NO_2 .

3. Formación del PAN (nitrato de peroxiacetileno). Los radicales libres reaccionan entre sí, con contaminantes primarios u otros constituyentes del aire, formando una mezcla compleja de oxidantes, entre los que destacan el PAN y los aldehídos.

El resultado final es la concentración en la atmósfera de sustancias con gran poder oxidante, como el O_3 , que es el más destacado y, por tanto, nos sirve como medida de la gravedad de la contaminación fotoquímica.

Este fenómeno se observó en Los Ángeles (California) en 1944 y es cada vez más frecuente en ciudades con mucha industria y gran densidad de tráfico (Fig. 10.20.a y b).

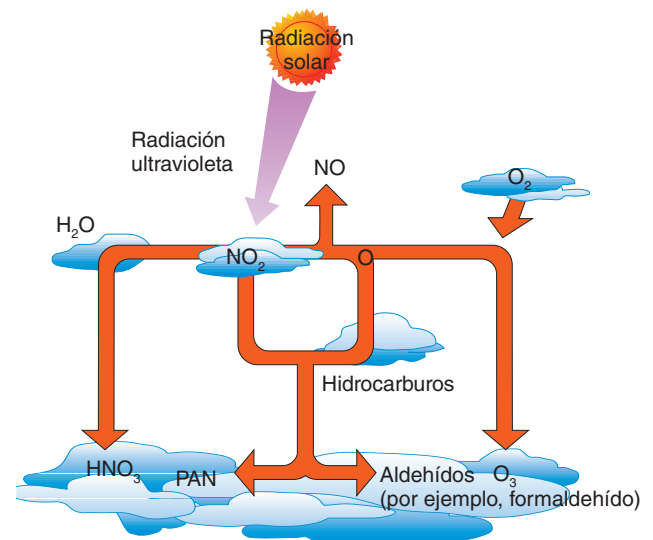


Fig. 10.18. Esquema de formación del smog fotoquímico. (Modificado de Miller.)

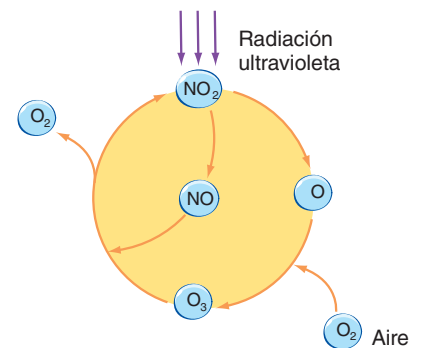


Fig. 10.19. Ciclo fotolítico del NO_2 .

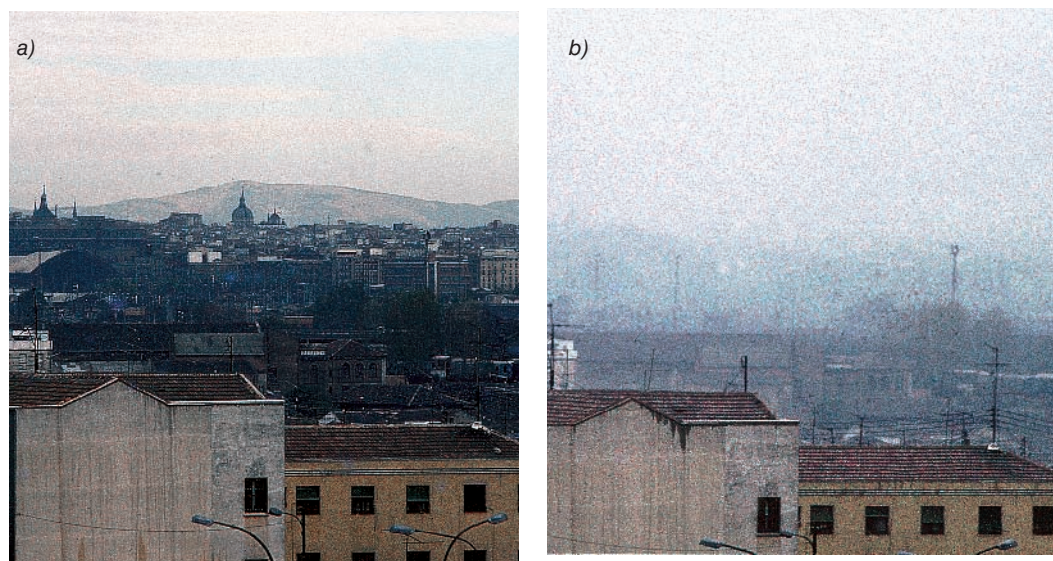


Fig. 10.20. Observa la diferencia entre la figura a) núcleo urbano sin nieblas contaminantes, y b) el mismo lugar contaminado. (Cortesía de Francisco J. Palacios.)

Importante !

Smog fotoquímico.

Reacciones de formación

$RH + O \rightarrow RO^*$ (radicales libres con alto poder oxidante)
(oxidación de hidrocarburos)

$RO^* + O_2 \rightarrow RO_3^*$

$RO_3^* + (HC) \rightarrow [R^*CHO]$

(Acetaldehídos)

$RO_3^* + NO \rightarrow RO_2 + [NO_2]$

$RO_3^* + O_2 \rightarrow RO_2 + [O_3]$

$RO_3^* + NO_2 \rightarrow [R CO_3 NO_2]$ (PAN)

Smog fotoquímico:

$R^*CHO + NO_2 + O_3 + PAN$



ACTIVIDADES

12> Observa la gráfica de la Figura 10.21 y realiza las siguientes tareas:

- Elabora una tabla que contenga el tiempo de exposición al contaminante, la concentración del mismo y sus efectos sobre la vegetación.
- ¿Qué conclusiones deduces respecto a los efectos producidos por el SO_2 según el tiempo de exposición al mismo y teniendo en cuenta su concentración?
- ¿Qué tipo de contaminante es el SO_2 ? ¿Cuáles son sus principales fuentes de emisión?
- ¿Cuál es su evolución y el tiempo de permanencia en la atmósfera?
- Indica otros efectos ocasionados por la presencia en el aire de SO_2 .

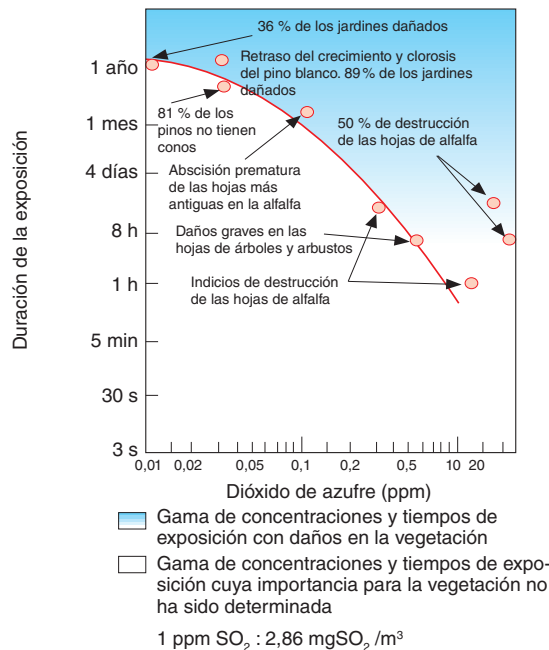


Fig. 10.21. Efectos del SO_2 sobre la vegetación. (Fuente: Sanz Sa.)

13> Lee el siguiente texto y contesta a las cuestiones que se te proponen a continuación:

«El *smog* sulfuroso más notorio de los registrados en Londres se produjo del 5 al 9 de diciembre de 1952 y provocó 4 700 fallecimientos a causa de enfermedades respiratorias. Este suceso sirvió de estímulo para que las autoridades inglesas adoptasen serias medidas de control de la contaminación atmosférica. Respecto al *smog* fotoquímico de Los Ángeles, ha hecho historia el registrado en septiembre de 1976, cuando durante diez días consecutivos las concentraciones máximas horarias de ozono excedieron los $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ estimando que más del 80 % de la población se resintió en su salud.» (*El hombre y su ambiente atmosférico*, Font Tullot.)

- ¿Qué es el *smog* sulfuroso? ¿Dónde y cómo se manifiesta?
- Indica diferencias en relación con el origen, componentes y condiciones atmosféricas que se dan entre el *smog* sulfuroso y el fotoquímico.

14> Observa la Figura 10.22, que representa el diagrama causal de la unión de dos contaminantes (C_1 y C_2) para formar un tercero más peligroso (*smog* fotoquímico), y:

- Explica la relación observada.
- ¿Qué ocurriría en caso de niebla? ¿Y de viento?

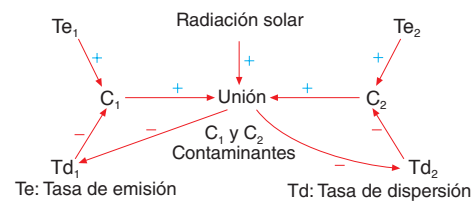


Fig. 10.22. Diagrama causal. (J. Salvachúa).

15> La Figura 10.23 nos muestra las variaciones a lo largo del día de una serie de contaminantes en una atmósfera urbana.

- ¿Qué efecto de la contaminación del aire se relaciona con ellos?
- ¿Qué ocurriría con los contaminantes en cada una de las siguientes situaciones: encendido de calefacciones a primera hora de la mañana; aumento de la cantidad de ozono; aumento de la insolación, y situación anticiclónica?
- ¿A qué hora del día se ve favorecido dicho proceso? Razona tu respuesta.

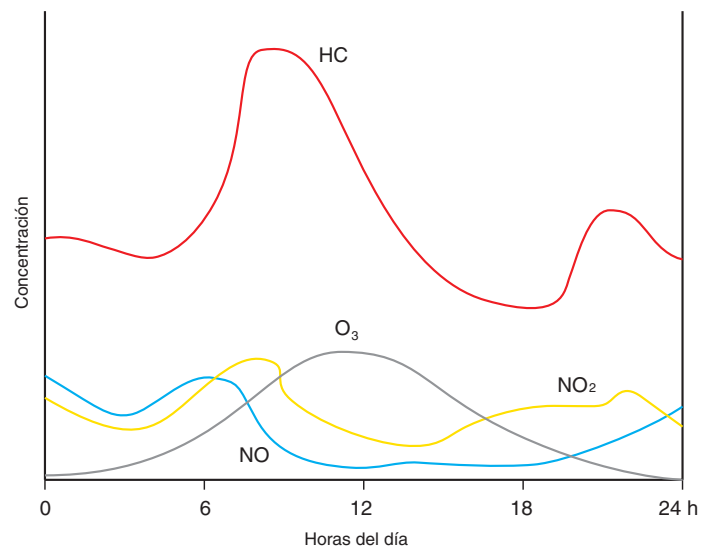


Fig. 10.23.

□ 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 lo cual es la **lluvia ácida** (Fig. 10.24). Este nombre hace referencia al retorno a la Tierra de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera en forma de ácidos disueltos en las gotas de lluvia, pero también en forma de nevadas, nieblas y rocíos.

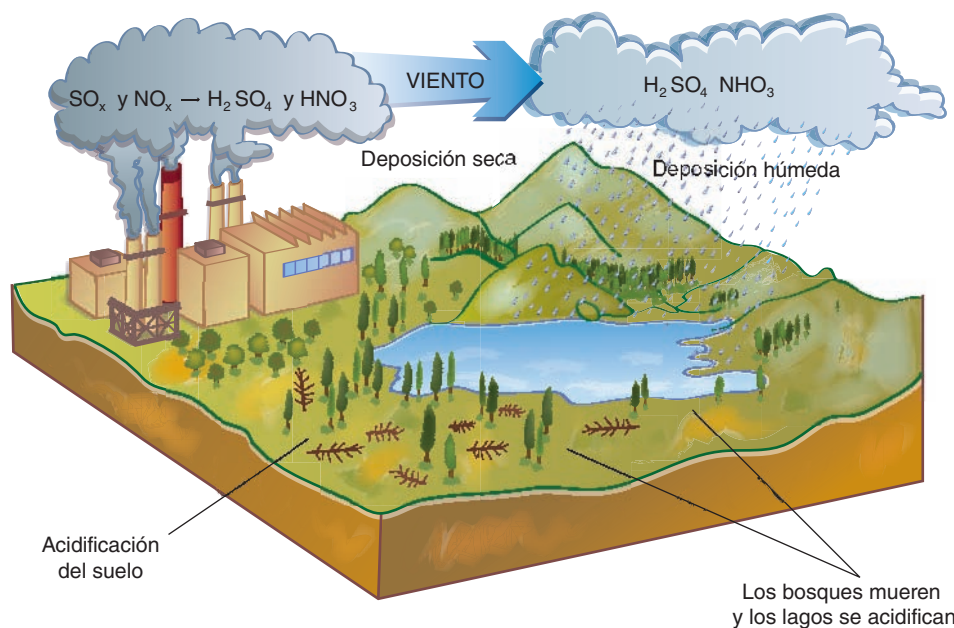


Fig. 10.24. Formación de la lluvia ácida.

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 SO_2 y NO_x , que son transportados, reaccionan, se precipitan y se depositan (Fig. 10.24), retornando a la superficie de la Tierra de dos modos distintos:

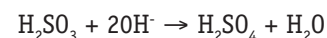
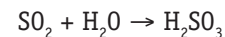
- **Deposición seca.** En forma gaseosa o como aerosoles, cerca de las fuentes de emisión.
- **Deposición húmeda.** La mayor parte de los SO_2 y NO_x que permanecen en la atmósfera sufren un proceso de oxidación en el que se forma ácido sulfúrico y ácido nítrico, los cuales se disuelven en las gotas de agua que forman las nubes (consulta el margen), pudiendo ser transportados por el viento a cientos de kilómetros del foco emisor, y retornando al suelo por medio de las precipitaciones.

La intensidad de la lluvia ácida depende de la velocidad de las reacciones químicas que la originan, la presencia de humedad en la atmósfera y la dinámica de la atmósfera, que traslada los iones (sulfato, nitrato, hidrógeno) a distancias más o menos largas.

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. Países como Gran Bretaña o Alemania, muy industrializados, trasladan hacia zonas como Noruega, Dinamarca o Finlandia los contaminantes, donde estos se depositan. Estos países son receptores de la contaminación al encontrarse al este de los países emisores, dado que en estas zonas el sentido de la circulación general de la atmósfera es del oeste.

Importante !

Reacciones que desencadenan la formación de lluvia ácida:



¿Sabías que...?

Los primeros efectos de la lluvia ácida se detectaron en lagos escandinavos.



Fig. 10.25. Efectos de la lluvia ácida.



Más datos

El Protocolo de Montreal

En el año 1987, 36 países firmaron un acuerdo sobre la producción de CFC que consistía en:

- Congelar la producción.
- Reducirla en un 20% en 1993.
- Reducirla en otro 30% en 1998.

Según un informe del PNUMA de 1998, gracias al Protocolo de Montreal, el consumo mundial de CFC ha disminuido desde 1,1 millón de toneladas en 1986, hasta 160000 toneladas en 1996. Aun así, se piensa que la capa de ozono no podrá recuperarse hasta el año 2050.

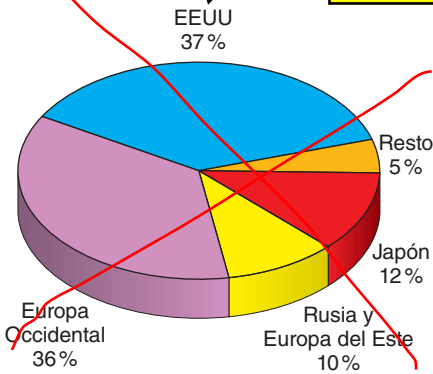
Los **efectos de la lluvia ácida** se manifiestan sobre:

- Los ecosistemas acuáticos como ríos y lagos, cuyo incremento de la acidez provoca una disminución o la desaparición de especies de seres vivos; por ejemplo, un pH inferior a 4 provoca la muerte de los salmones, plantas o invertebrados.
- El suelo, provocando un aumento de su acidez que lleva a cambios en su composición, empeorando su calidad y transformándolos en suelos improductivos.
- La vegetación, siendo los bosques los que más sufren sus efectos, con pérdida de color en hojas, caída de las mismas, muerte de las copas, alteraciones en la corteza y muerte de los árboles.
- Los materiales; así, la corrosión de metales, deterioro de pinturas y barnices, descomposición de materiales de construcción, sobre todo calizas, mármoles, areniscas, en los que provoca el denominado «mal de la piedra».

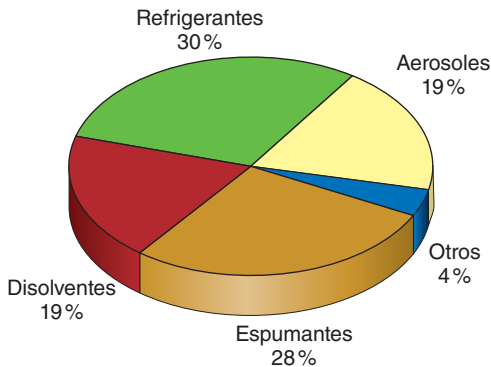
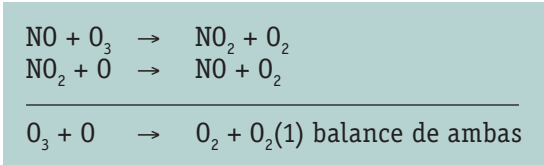
Efectos globales. Agujero en la capa de ozono

Consideramos **efectos globales** a aquellos que abarcan la totalidad del planeta y que solo pueden mitigarse si se actúa sobre su propio origen. Se incluyen entre estos efectos el cambio climático producido por la acumulación en la atmósfera de gases de efecto invernadero, que provocan un aumento de la temperatura media terrestre (Unidad 8) y el agujero en la capa de ozono (Unidad 10.26). Entre los años 1977 y 1984 se detectó que la cantidad de ozono presente en la primavera en la Antártida había disminuido en un 40%. Los científicos denominaron a este fenómeno el **agujero de ozono**. Actualmente se han realizado estudios sobre el incremento del agujero, su extensión por América austral y su incidencia en el aumento del calentamiento global y de la ceguera en el ganado ovino. En la estratosfera tienen lugar múltiples y complejas reacciones químicas, además de las de formación y destrucción del ozono, que ya se estudiaron en la Unidad 8, por lo que solamente centraremos nuestra atención en las más importantes.

Sustituir



- **Papel de los NO_x.** Aunque en los años setenta se culpó del incremento de estos compuestos a los aviones que volaban por la estratosfera, liberando ingentes cantidades de ellos, la crisis del petróleo acabó prácticamente con estos vuelos. En la actualidad se sabe que los NO_x se producen en grandes cantidades durante las tormentas (como hemos visto, en las zonas tropicales estas son muy frecuentes, y dada su enorme altitud, pueden emitirlos hacia la estratosfera). Por otra parte, los NO_x liberados por el hombre durante las combustiones no pueden alcanzar la estratosfera, ya que se trata de compuestos sumamente reactivos a nivel de la troposfera. Sin embargo, el N₂O, liberado junto con los NO_x en las combustiones y procedente de la desnitrificación de los suelos agrícolas (incrementada actualmente por el uso excesivo de abonos nitrogenados) es un compuesto poco reactivo que puede ascender hasta la estratosfera, donde se transforma en NO_x mediante un proceso de fotólisis. Su reacción con el ozono es la siguiente:



Como podemos observar, los NO_x estratosféricos participan como catalizadores (no se consumen) en la reacción de destrucción del ozono, pudiendo repetirse una y otra vez.

Si estas reacciones fueran las únicas existentes, supondrían una rebaja en los niveles de O₃; pero esto no es así, ya que los NO₂ pueden reaccionar de otras múltiples maneras, entre ellas con grupos OH⁻ para formar HNO₃.

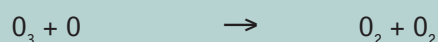
Fig. 10.26. Consumo de CFC por países y aplicaciones.

- **Papel de los compuestos de cloro**, como NaCl y HCl, naturales, liberados por el mar y por las erupciones volcánicas, y los artificiales, como los CFC (clorofluorocarbonados) (Tabla 10.6), utilizados como propelentes de aerosoles, disolventes y refrigerantes por su inocuidad debida a su estabilidad, que alcanzan la estratosfera y rompen el ozono de la siguiente forma:

- **Fotólisis de los CFC:**



- **Destrucción del ozono:** proceso que puede durar cien años, en el que cada átomo de cloro es capaz de destruir hasta 100 000 moléculas de ozono (reacción similar a la [1]):



- Existe una tercera reacción entre la (1) y la (2):



Mediante esta, al formarse el nitrato de cloro se protege al ozono de la acción del cloro. De esta manera los NO_2 presentes en la estratosfera desempeñan el importantísimo papel de «atrapar» al cloro, produciendo su inactivación.

El agujero de ozono del polo Sur es mayor que el del Norte, ya que la Antártida es un continente, lo que significa que, durante el intenso frío del invierno, se asentará sobre ella un anticiclón continental. El aire que cubre este anticiclón será especialmente frío y la troposfera será más baja que en verano, formándose nubes de hielo a altitudes superiores, es decir, en la estratosfera. Estas nubes reciben el nombre de **nubes estratosféricas polares (NEP)** y se forman a muy bajas temperaturas (inferiores a -83°C), condiciones que solo se dan en la Antártida.

Como ya sabes, para que se formen nubes se necesitan núcleos de condensación, como, por ejemplo, los NO_2 . Estos reaccionan con el agua formando HNO_3 , que cae con la nieve, con lo que la atmósfera queda desnitrificada. Al no existir NO_2 , en la atmósfera, la reacción (3) no puede llevarse a cabo y, durante la primavera austral (en octubre), el cloro destruye el ozono, reacción (2), sin que nada se lo impida. La falta de ozono es realimentada positivamente de la siguiente manera: al no haber tanto ozono, no puede haber tanta absorción de radiación UV y, como consecuencia, tampoco se pueden dar las reacciones de formación y destrucción del ozono, con lo que la estratosfera estará más fría y, como consecuencia, se formarán más NEP.

Otro factor que contribuye al incremento del agujero de ozono en el polo Sur es que la permanencia del vórtice polar durante gran parte del año impide la afluencia del aire rico en ozono procedente de las zonas ecuatoriales. Dicho agujero afecta también a las áreas geográficas adyacentes, pues al dilatarse dicho vórtice envía bolsas de aire pobres en ozono hacia la parte sur del continente americano, Australia y Nueva Zelanda.

En la actualidad más del 95% de los aerosoles que se fabrican en España no utilizan CFC como propelentes. El 5% restante corresponde a empleo de CFC en usos muy específicos, como productos medicinales y científicos que no se pueden adaptar a otras alternativas de propelentes y su uso está autorizado. (Fuente: Sociedad Española de Aerosoles.)

CFC	Fórmula
R-11	CFCl_3
R-12	CFCl_2
R-113	$\text{CFCl}_2\text{-CF}_2\text{Cl}$
R-114	$\text{CF}_2\text{Cl-CF}_2\text{Cl}$
R-22	CHF_2Cl

Tabla 10.6. Familia de los CFC.

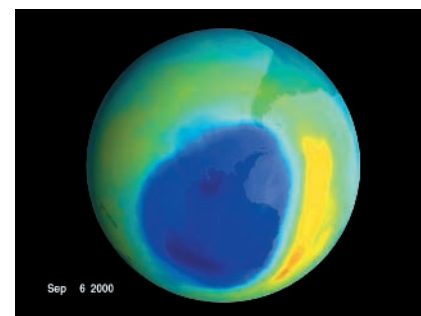


Fig. 10.27. Agujero en la capa de ozono (teledetección). Imagen tomada por satélite midiendo la cantidad de radiación UV que absorben las moléculas de O_3 atmosféricas. (Fuente: Proyecto TOMS de la NASA.)

Más datos



La concentración de ozono estratosférico se expresa en **unidades Dobson (DU)**, siendo los valores normales 230 a 500 DU. Una unidad Dobson equivale a un espesor en la capa de ozono de 0,01 mm. El nombre hace referencia a G.M.B. Dobson, uno de los primeros investigadores del ozono troposférico.

Responde



Diseña el diagrama causal que represente el bucle de realimentación de la falta de ozono descrito en el texto.



ACTIVIDADES

16> A la vista de la Figura 10.28, que nos indica la situación de la fauna piscícola en 1679 lagos europeos, contesta a las siguientes preguntas:

- Analiza y comenta por escrito los datos que en ella aparecen.
- ¿A qué crees que se debe el hecho de que desaparezcan en un porcentaje tan elevado las poblaciones de peces en algunos de los lagos europeos?
- Indica el origen y otras posibles repercusiones del problema que has detectado.

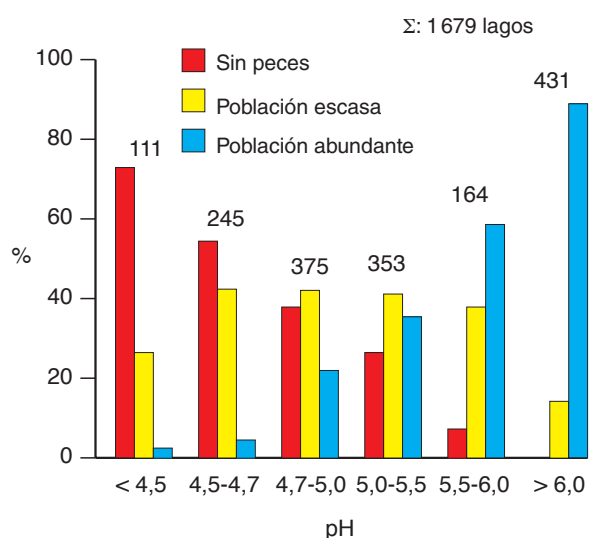


Fig. 10.28.

17> Observa la evolución del agujero de ozono descrita en la Figura 10.29 y contesta:

- ¿Qué es el agujero de ozono? ¿Qué repercusiones o efectos genera?
- Indica el papel de los CFC en la capa de ozono, así como su origen.
- ¿Qué otros compuestos pueden dañar la capa de ozono? Explica su acción.
- Explica a qué se debe el hecho de que el agujero de ozono sea mayor en el polo Sur que en el polo Norte.

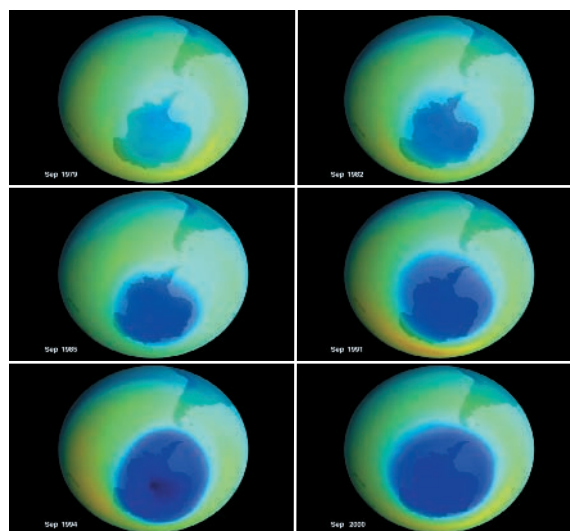


Fig. 10.29. Evolución del agujero de ozono antártico.



Fig. 10.30. Instrumentos para controlar la calidad del aire.

E. La calidad del aire

Definir el concepto de calidad del aire es difícil, y normalmente corresponde a un conjunto de normas y disposiciones de mayor o menor vinculación desde el punto de vista legislativo, y que definen una frontera más o menos real entre el aire limpio y el aire contaminado. La legislación española establece como «**objetivo de calidad del aire**» la cuantía de cada contaminante en la atmósfera, aisladamente o asociado con otros, cuyo establecimiento conlleva obligaciones según las condiciones que se determinan para cada contaminante.

Vigilancia de la calidad del aire

La vigilancia de la calidad del aire abarca los sistemas y procedimientos utilizados para evaluar la presencia de agentes contaminantes en la atmósfera, así como la evolución de sus concentraciones en el tiempo y en el espacio, con el fin de prevenir y reducir los efectos que pueden causar sobre la salud y el medio ambiente.

Dicha vigilancia se puede llevar a cabo mediante:

- a) **Redes de vigilancia**, que son un conjunto de estaciones de medida (puntos de muestreo) de los contaminantes del aire, constituidas por equipos manuales, que se encargan de la toma de muestras y su análisis en el laboratorio, y por equipos automáticos de medida continua que suministran datos hacia un centro de control. Entre ellos tenemos las **redes de vigilancia locales** (redes urbanas), que permiten conocer los niveles de inmisión de contaminantes de la zona analizada; las **redes comunitarias** como la EMEP, que cuenta con una serie de estaciones distribuidas por los países de la UE y cuyo objetivo es el control de la contaminación transfronteriza y aportar información a los gobiernos sobre concentración y deposición de los contaminantes del aire y su transmisión a largas distancias, con el fin de que puedan adoptar medidas para su control; la red CAMP, que recibe datos sobre contaminación del NE del Atlántico y analiza sus efectos sobre el medio marino; y las **redes de ámbito mundial** como la BAPMON, que se encarga del análisis y evolución de los datos sobre los gases invernadero o del agujero en la capa de ozono. España cuenta con 10 estaciones integradas en dichas redes.
- b) **Métodos de análisis**, que comprenden procesos físicos, basados en someter las muestras de aire a ensayos en los que no se alteran las características de los contaminantes, como la determinación del color o de la absorción de luz en diferentes longitudes de onda, y métodos químicos, basados en la transformación que sufre la sustancia objeto de análisis. Se emplean reacciones de coloración y de combinación con reactivos gaseosos que producen fluorescencia al ponerse en contacto con la sustancia contaminante objeto de ensayo (Tabla 10.7). Estas técnicas se llevan a cabo mediante equipos automáticos.
- c) **Indicadores biológicos** de contaminación, que se basan en el análisis de la sensibilidad que presentan algunas especies de seres vivos a ciertos contaminantes gaseosos atmosféricos, cuyos efectos permiten identificar su presencia y vigilar la evolución de la contaminación atmosférica. Entre los contaminantes más comúnmente detectados mediante indicadores biológicos tenemos HF, SO₂, oxidantes fotoquímicos, metales pesados e isótopos radiactivos. Entre las especies empleadas destacan los líquenes, que son muy sensibles al SO₂, HF y HCl, ya que les producen alteraciones morfológicas y fisiológicas importantes (Fig. 10.31).
- d) **Empleo de los sensores lidar** (explicados en la pág. 79), que se utilizan para la detección de los contaminantes del aire.

En internet



Mapa de situación de las estaciones de la Red EMEP/Camp (Vigilancia y emisiones atmosféricas)

www.mma.es/secciones/info_estadistica_ambiental/estadisticas_info/informes_coyuntura/informe_anual/pdf/pto21s-intesis07.pdf

Tipo de contaminante	Métodos
SO ₂	Absorción de fluorescencia UV
CO	Absorción por infrarrojo
Partículas	Atenuación de la radiación beta en filtro
Ozono	Absorción en el UV
Hidrocarburos	Ionización en llama de hidrógeno y aire
NO _x	Quimioluminiscencia

Tabla 10.7. Métodos de análisis de los contaminantes atmosféricos.

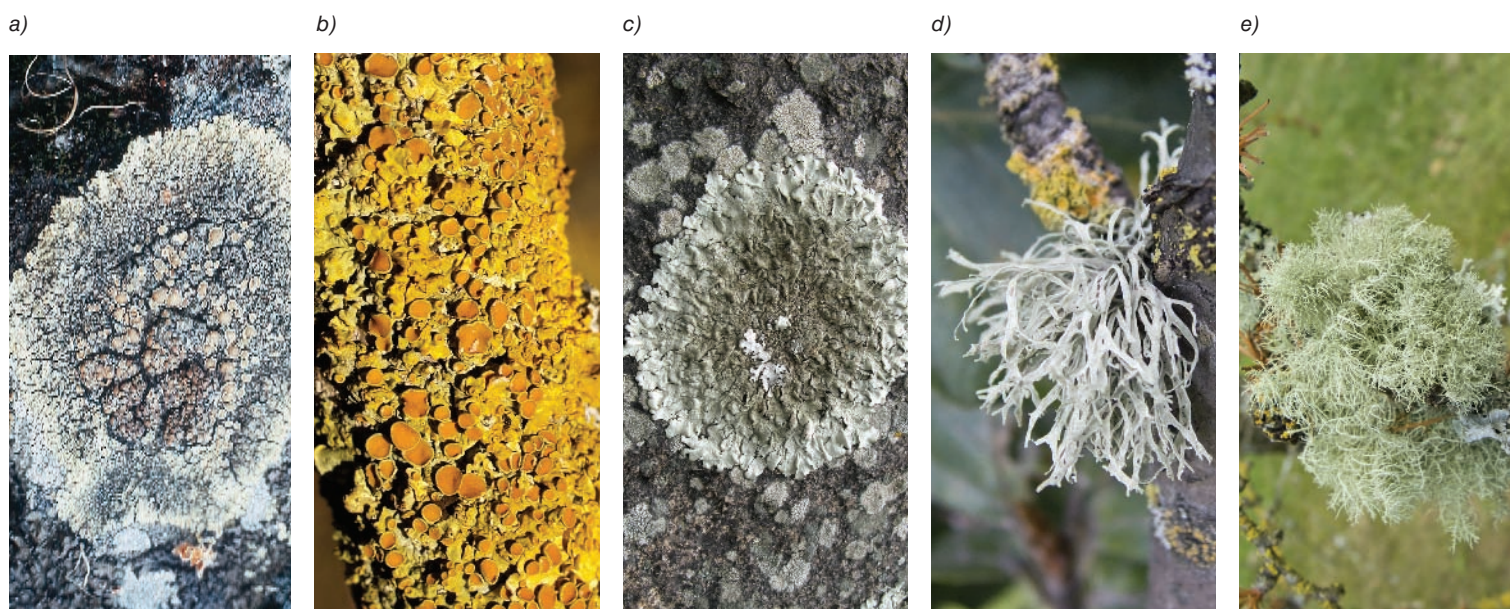


Fig. 10.31. Especies de líquenes y grado de contaminación por SO₂ que soportan: a) *Lecanora* (alto nivel de contaminación); b) *Xanthoria* (nivel de contaminación medio); c) *Parmelia* (contaminación escasa); d) *Ramalia* (ausencia de contaminación casi total); e) *Usnea* (ausencia de contaminación).



□ 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 mediante los planes de ordenación del territorio contemplan los lugares idóneos para establecer industrias, de forma que sus efectos sobre las poblaciones, vegetación, animales y materiales sean menores.
- **Las evaluaciones de impacto ambiental**, que son estudios previos de las alteraciones que sobre el medio ambiente en general y sobre la atmósfera en particular van a provocar la realización de determinadas acciones, proyectos, etc., con el fin de establecer medidas correctoras que mitiguen los impactos antes de que aquellos se lleven a cabo.
- **El empleo de tecnologías de baja o nula emisión de residuos**, basadas en el desarrollo de procesos que traten de evitar la contaminación en origen.
- **Programas de I+D** relativos a la búsqueda y aplicación de fuentes de energía alternativas y menos contaminantes.
- **Mejora de la calidad y el tipo de combustibles o carburantes**, de manera que no lleven en su composición elementos que al entrar en combustión generen algún contaminante (el empleo de gasolinas sin plomo) o de combustibles con menor contenido en azufre (como el gas natural).
- **Medidas sociales de información** mediante campañas de sensibilización y formación a través de la educación ambiental, para lograr del ciudadano un uso racional y eficiente de la energía (ahorro, empleo de transporte público...).
- **Medidas legislativas** con el establecimiento de normativas sobre calidad del aire por parte de las administraciones locales, regionales, nacionales e internacionales. La UE ha fijado una Directiva marco de calidad del aire que establece las bases para lograr mejoras en la calidad del aire y en ella han de basarse las normativas de control de calidad de los países miembros.

2. Medidas correctoras, como la depuración del aire contaminado y las estrategias de dispersión. Se recurre a ellas para evitar la descarga masiva de contaminantes a la atmósfera. Entre ellas podemos mencionar:

- **La concentración y retención de partículas** con equipos adecuados, como los separadores de gravedad, basados en la acción de la gravedad; los filtros de tejido, en los que la corriente de aire con las partículas pasa a través de un tejido filtrante; los precipitadores electrostáticos, donde las partículas cargadas eléctricamente por la acción de un campo eléctrico se depositan en unos electrodos que las atraen, y los absorbedores húmedos que fijan las partículas a un líquido absorbedor.

Estos métodos tienen el inconveniente de transferir la contaminación de un medio a otro, ya que al evitar la concentración de contaminantes del aire se producen residuos sólidos o líquidos que contaminan, a su vez, el suelo o el agua (Fig. 10.32).

- **Los sistemas de depuración de gases** que emplean mecanismos de *absorción* basados en la circulación de líquidos capaces de disolver el contaminante gaseoso, métodos de *adsorción* que emplean sólidos que retienen selectivamente los contaminantes a eliminar, procesos de combustión de gases mediante el empleo de antorchas o quemadores y procesos de reducción catalítica en el caso de contaminantes que se pueden transformar en compuestos no tóxicos al reaccionar con un agente reductor.

- **La expulsión de los contaminantes** por medio de chimeneas adecuadas, de forma que se diluyan lo suficiente, evitando concentraciones a nivel del suelo. En este caso se reduce la contaminación local, pero se pueden provocar problemas en lugares alejados de las fuentes de emisión.

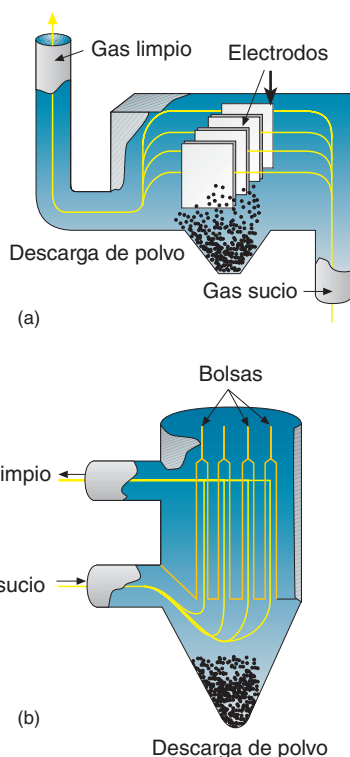


Fig. 10.32. Sistemas de corrección de la contaminación del aire: a) precipitador electrostático; b) filtros de bolsa. (Fuente: ITSEMAP.)

a, b, c

Vocabulario

Absorción: proceso en el que una materia se impregna en otra y la retiene.

Adsorción: proceso por el que las moléculas de un gas, de un líquido o de una sustancia disuelta se fijan a la superficie de un sólido mediante una unión física o química.

10.2 La contaminación acústica

Resulta difícil definir el ruido, puesto que cualquier sonido puede resultar molesto según las condiciones psíquicas o físicas del receptor (por ejemplo, un sonido de baja intensidad, como el zumbido de una mosca, puede resultar muy molesto, y un sonido de alta intensidad, como la música a volumen fuerte, puede no serlo si se escucha de forma voluntaria).



El **ruido** es un sonido excesivo o intempestivo, desagradable para el que lo percibe, que puede producir efectos fisiológicos y psicológicos no deseados sobre una persona o grupo de personas.

A. Origen y fuentes productoras de ruido

En los últimos años, la cantidad de ruido producido se ha incrementado 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 de motor en el transporte de personas y mercancías. Las principales fuentes de ruido que la Organización Mundial de la Salud considera son:

- **Industria.** El ruido que produce es causado por la maquinaria que se emplea, y aumenta en relación directa con la potencia de las máquinas. La incidencia del ruido provocado por las industrias también depende de la presencia o ausencia de otras fuentes de ruido próximas (por ejemplo, el tráfico que circunda áreas industriales abiertas).
- **Medios de transporte.** Muchos autores consideran a los automóviles como la fuente más importante de ruido ambiental. Su incidencia depende de la velocidad del vehículo y de las características de la vía (anchura de la calle, edificios, tipo de pavimentos, etc.).

Se producen variaciones de ruido muy grandes, dependiendo de la intensidad del tráfico en cada momento. Además, las motos y las señales de alarma (bocinas, sirenas) provocan ruidos más molestos, mientras que el ferrocarril produce ruidos de baja frecuencia, pero caracterizados por su periodicidad (uniones de raíles) y por el impacto de las señales acústicas. Ver la Figura 10.33.

Los aviones causan graves problemas acústicos en las comunidades cercanas a los aeropuertos (Fig. 10.34), y el grado máximo de ruido en este caso es alcanzado por el «estampido sónico» producido por los aviones supersónicos.

- **Construcción de edificios y obras públicas.** Las obras son causa de abundante ruido, debido a la maquinaria empleada (cementeras, grúas, martillos de perforación, etcétera). Esta situación se agrava por el hecho de que los equipos no cuentan con silenciadores en la mayoría de los casos (por ejemplo, un martillo neumático produce 110 dB a un metro de distancia). Ver la Figura 10.33.
- **Interior de edificios.** Las actividades de limpieza, los electrodomésticos, la vida familiar, los aparatos de radio y televisión, los animales domésticos, las tuberías, las cisternas, etc., producen ruidos de carácter privado cuyo control resulta difícil.
- **Otras fuentes.** Se incluyen aquí fuentes importantes, de tipo individual y relacionadas con el ocio y el tiempo libre, como son los lugares de diversión (cafeterías, discotecas, ferias, etc.). Los ruidos que ocasionan no se consideran molestos, aunque producen niveles de contaminación acústica elevados (media de 94 a 100 dB). (Consulta la Tabla 10.8.)

Vocabulario

a, b, c

El **sonido** es la sensación sonora que percibe el nervio acústico a través de las diferentes estructuras del oído.

Importante

!

La **intensidad sonora** es la cantidad de energía transportada por la onda por unidad de tiempo y superficie.

$$I = \frac{E}{ts}$$

La intensidad se mide en **belios**, en honor a Graham Bell, o en submúltiplos llamados decibelios o decibel (dB). El nivel más bajo de sonido corresponde a 0 dB; por encima de 120 dB la sensación es dolorosa.

Los aparatos de medida del sonido o sonómetros emplean como escala de medida de la exposición prolongada a ruidos el **leq** o nivel sonoro continuo equivalente que se expresa en dB (A).

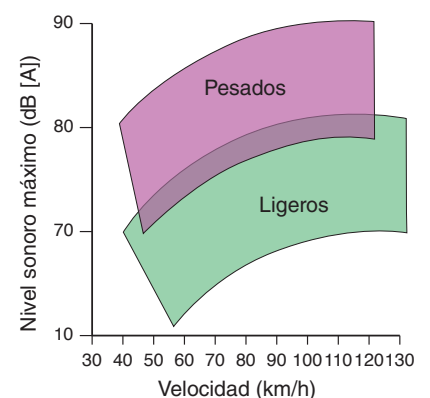


Fig. 10.33. Variación en el nivel de ruido de diferentes tipos de vehículos con relación a la velocidad. (Fuente: F. J. Peña.)



Más datos

Según un informe de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), España es el país europeo con mayor índice de ruidos y el segundo del mundo, después de Japón. Este hecho pone de manifiesto que no existe una correlación entre desarrollo económico y nivel de ruido, sino que viene determinado por otros factores, como el grado de concienciación ciudadana sobre sus efectos y la posibilidad de evitarlos.

Tipo de ambiente	Periodo	dB
Laboral	8 horas	75
Doméstico, auditorio, aula	—	45
Dormitorio	Noche	35
Exterior diurno	Día	55
Exterior nocturno	Noche	45

Tabla 10.8. Valores límite recomendados de exposición al ruido.

¿Sabías que...?

Los cambios en la intensidad del sonido son proporcionales al logaritmo de estímulo. Así, para medir la intensidad sonora se emplean niveles de magnitud (dB) en una escala logarítmica. Un aumento de 3 dB representa duplicar la intensidad sonora.

La insonorización en los edificios es una medida muy eficaz. Como ejemplo, la instalación de doble ventana mejora el aislamiento acústico hasta 45 dB.

Según la UE, el límite de contaminación acústica admisible es de 65 dB.

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. El hecho de establecer relaciones causa-efecto respecto a la acción del ruido ocasiona problemas, dada la gran cantidad de factores que influyen en la producción del ruido: *tiempo de exposición, edad del individuo, estilo de vida, tipo de trabajo*. Por otra parte, para determinar los efectos provocados por los sonidos es necesario tener en cuenta el conjunto de ruidos de diversas fuentes a los que están sometidas las personas en su actividad diaria. Los efectos que se producen son:

- **Alteraciones fisiológicas**, como la pérdida de audición. La capacidad auditiva varía de un individuo a otro, siendo difícil determinar el grado en que la exposición al ruido puede ocasionar dicha pérdida. Esta depende de la intensidad y tiempo de exposición y no se produce de forma brusca, sino gradual, lo que hace que su efecto pase inadvertido para el individuo, al no interferir en su vida diaria. Las consecuencias pueden ser permanentes o temporales (por ejemplo, si se superan los 85 dB en exposición prolongada, la pérdida de audición es irreversible).

Otras repercusiones del ruido se producen sobre la respiración, pues niveles superiores a 90 dB producen un aumento de su frecuencia. En el sistema circulatorio, el ruido ocasiona aceleraciones del ritmo cardiaco, aumento de la presión arterial y riesgo coronario. En el aparato digestivo produce disminución de la secreción salivar, náuseas, vómitos, pérdida de apetito e incluso úlceras gastroduodenales. Sobre el sistema endocrino provoca una alteración en el funcionamiento de las glándulas suprarrenales que ocasiona aumento en la secreción de adrenalina. Además altera el órgano del equilibrio, lo que supone pérdida de este y vértigos.

- **Alteraciones psíquicas**, cuyos factores de mayor repercusión son la intensidad del ruido (cuanto más irregular e intermitente, más molestias ocasiona y más difícil es adaptarse a él), la fuente de emisión, la hora de emisión (los ruidos son más molestos durante la noche) y el estado de ánimo o la sensibilidad del receptor.

Las alteraciones psíquicas más frecuentes son la neurosis, la irritabilidad y el estrés.

- **Otras alteraciones**, como las dificultades en la comunicación oral, que pueden ser causa de accidente y que obligan a realizar esfuerzos suplementarios al tener que elevar la voz, y alteración sobre el sueño, ya que la exposición al ruido puede provocar dificultades para conciliarlo, alterarlo o despertar a una persona dormida.

Los efectos dependen de la naturaleza del ruido, la edad y el sexo (las mujeres son más sensibles al ruido durante el sueño que los hombres). Dichos efectos aumentan cuando se superan los 35 dB. También se producen alteraciones en el rendimiento laboral, puesto que el ruido afecta sobre todo a tareas que implican memorización o resolución de problemas y a trabajos de vigilancia. En la escuela se ha comprobado que el ruido dificulta los procesos de enseñanza y aprendizaje, dado que ocasiona disminución de la concentración y de la eficiencia.



Fig. 10.34. Fuentes de emisión de ruido. La exposición prolongada genera graves daños en la salud.



C. Soluciones frente a la contaminación acústica

La primera forma de intervención destinada a disminuir los efectos de la contaminación acústica es procurar aislarse de ella, pero carece de eficacia cuando se trata de actividades realizadas en el exterior. Por ello, las formas de intervención deben enmarcarse en una política de gestión medioambiental y de mejora de la calidad de vida.

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, que es el instrumento más eficaz, ya que las molestias causadas por el ruido provienen de la realización de ciertas actividades que son incompatibles con la zona en la que se asientan.
- Planificación urbana, que emplea como instrumento más eficaz el de la zonificación y aislamiento geográfico de actividades más ruidosas con relación a zonas habitadas.
- La arquitectura urbana, mediante la construcción de edificios que actúan como pantallas, la ubicación y distribución adecuadas de las viviendas, la insonorización y la instalación de pantallas acústicas (Fig. 10.35).
- Estudios de impacto ambiental, de gran importancia a la hora de tomar decisiones sobre planificación de usos del suelo y establecimiento de industrias.
- Medidas que impliquen el establecimiento de ordenanzas y normativas, tasas, multas, subvenciones, etc.
- Utilización de sistemas que supongan una disminución del ruido en las fuentes emisoras, como silenciadores en tubos de escape, maquinaria con dispositivos de insonorización y empleo de técnicas que ocasionen menos ruido.
- Información y educación ambiental, que produzcan una sensibilización del ciudadano, a través de campañas publicitarias; además, hay que introducir en los sistemas educativos el conocimiento del sonido y los daños que una exposición prolongada al ruido (permanencia en ambientes ruidosos) puede ocasionar, para poder fomentar actitudes que impliquen una supresión de comportamientos excesivamente 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:

- Reglamentaciones elaboradas por las administraciones públicas, como los reglamentos específicos que regulan los niveles de emisión de ruido por las distintas fuentes y las legislaciones globales que agrupan todos los elementos que intervienen en la lucha contra la contaminación acústica.
- Acciones directas sobre las fuentes de emisión, como limitar el nivel de actividad o reducir su potencia sonora, zonificación y aislamiento geográfico de actividades ruidosas, modificar el trazado de las vías de circulación con el fin de alejarlas de zonas pobladas, insonorización de edificios y colocación de barreras acústicas.

Una forma de luchar contra la contaminación acústica es conocer bien los mecanismos o factores que la producen. Esto supone elaborar **mapas de ruido** a partir de los datos obtenidos en las estaciones de vigilancia. En dichos mapas se representan los niveles de intensidad sonora que corresponden a un espacio y tiempo determinados, y que pueden ser variables.



Fig. 10.35. Pantallas acústicas.

Importante !

La representación de un mapa de ruido puede realizarse de dos formas:

- Empleando **isófonas**, líneas que unen puntos cuyos niveles de ruido son iguales.
- Mediante **colores**, caso en el cual los puntos de igual nivel de ruido se representan con un mismo color.

Vocabulario a, b, c

La Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, establece las siguientes definiciones:

- **Emisor acústico:** cualquier actividad, infraestructura, equipo, maquinaria o comportamiento que genere contaminación acústica.
- **Índice acústico:** magnitud física para describir la contaminación acústica, que tiene relación con los efectos producidos por esta.
- **Índice de emisión:** índice acústico relativo a la contaminación acústica generada por un emisor.
- **Índice de inmisión:** índice acústico relativo a la contaminación acústica existente en un lugar durante un tiempo determinado.



ACTIVIDADES

18> Observa el mapa de niveles sonoros de la Figura 10.36, que nos indica la distribución espacial de los niveles de ruido ambiental durante una jornada en una ciudad con gran población. Después contesta a las siguientes preguntas:

- ¿En qué zonas se localiza la mayor contaminación sonora? ¿Cuáles son las causas?
- ¿Qué son los mapas de ruidos y cuál es su finalidad?
- ¿Qué formas se pueden emplear para elaborar un mapa de ruido?
- Nombra los efectos que puede ocasionar una exposición prolongada al ruido.
- Indica medidas de carácter familiar, local y nacional para combatir el problema de la contaminación acústica.

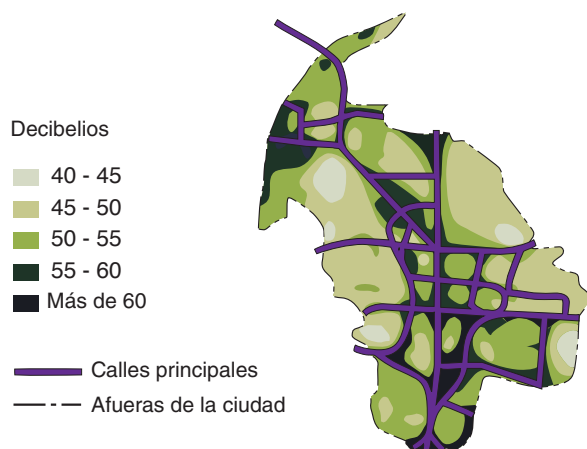


Fig. 10.36. Mapa de ruido.

19> Realiza las siguientes actividades:

- Clasifica como zona nociva, peligrosa o segura la intensidad de sonido que presentan las fuentes indicadas en la pirámide de la sordera que te presentamos en la Tabla 10.9.
- Cuál es el límite de contaminación acústica fijado por la Unión Europea?
- Indica las fuentes de ruido que te afectan diariamente (en casa, en el centro, en lugares de ocio, etc.) y su nivel de intensidad.
- Explica las razones que sitúan a España en segundo lugar entre los países más ruidosos del mundo, después de Japón.
- Busca información y realiza un comentario escrito sobre el grado y origen de la contaminación acústica presente en las distintas etapas de las sociedades humanas (cazador-recolector, agricultor-ganadero e industrial).

La pirámide de la sordera (Nivel de intensidad en dB)

Susurro (a un metro)	30-35
Oficina privada	50-55
Oficina mecanizada	60-65
Conversación (en voz alta a 1 metro)	65
Aspiradora (a 3 metros)	70-75
Automóvil (a 7 metros)	70-80
Calle (tráfico ligero)	75
Reactor en vuelo (a 2 kilómetros)	75-80
Interior coche a 100 km/h	75-80
Cuarto de calefacción	80-90
Martillo neumático (a 15 metros)	80-90
Grito (a 3 metros)	90
Estación de metro	95
Reactor despegando (a 100 metros)	120

Tabla 10.9. La pirámide de la sordera. (Fuente: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.)

20> Lee el siguiente texto y contesta las cuestiones que se te proponen:

«Somos el segundo país más ruidoso del mundo, después de Japón, un problema de muy difícil solución que dejará sordo a uno de cada cuatro españoles. Actualmente todos los ayuntamientos de las grandes ciudades toman medidas para controlar los ruidos. Mediciones, elaboración de mapas sonoros, patrullas especiales de la Policía Municipal para revisar vehículos... El jefe de sección de niveles sonoros de la agencia del Medio Ambiente de Madrid está convencido de que el futuro sonoro de las grandes ciudades pasa inevitablemente por la educación medioambiental.» (Fuente: *El País*.)

- ¿Qué problema ambiental se menciona? ¿Cuál es su origen?
- ¿Qué significa que un avión de reacción emite 120 dB? Compara este valor con los valores límite tolerables e indica algunos efectos que se derivarían de la proximidad a un aeropuerto del que despegan dichos aviones.
- Nombra cuatro medidas que se pueden adoptar para prevenir la contaminación acústica, indicando su tipo (administrativa, jurídica, social, técnica).
- ¿Qué tipo de medida se propone por la Agencia del Medio Ambiente? ¿Qué mecanismos se emplearían para su aplicación?

10.3 La contaminación lumínica

Es una de las formas de contaminación atmosférica menos conocida. La concienciación ciudadana y el conocimiento de los efectos que produce son aún escasos; no obstante, ya aparece definida y regulada en la legislación española. Así:

La **contaminación lumínica** es «el resplandor luminoso nocturno o brillo producido por la difusión y reflexión de la luz en los gases, aerosoles y partículas en suspensión en la atmósfera, que altera las condiciones naturales de las horas nocturnas y dificultan las observaciones astronómicas de los objetos celestes» (art. 3.f de la Ley 34/2007).

A. Formas y fuentes de contaminación lumínica

Entre sus manifestaciones tenemos:

- Luz intrusa.** Se produce cuando la iluminación artificial emite luz en direcciones que salen fuera del área donde es necesaria e invade zonas vecinas. Por ejemplo, la luz de una farola que entra en una vivienda. Frecuente en zonas urbanas.
- Difusión hacia el cielo** que se produce al interactuar la luz con las partículas del aire, provocando que parte del haz luminoso sea desviado en todas las direcciones y en especial hacia el cielo. Así, el halo luminoso que recubre los núcleos urbanos se observa a varios kilómetros de distancia.
- Deslumbramiento** ocasionado en personas y animales cuando una luz incide directamente sobre el ojo dificultando la visibilidad y generando una situación de inseguridad y peligro. Ello puede ser provocado por modelos de alumbrado con un exceso de luz y mal dirigido.

Entre las fuentes que provocan dicha contaminación, podemos destacar la iluminación privada de exteriores; la ornamental de edificios, monumentos, fuentes y jardines; de las vías de comunicación, rondas, autopistas, peajes, áreas de servicio; de interiores que se puede extender al exterior, como escaparates, edificios acristalados o luces de viviendas.

B. Efectos y soluciones frente a la contaminación lumínica

Los efectos que la contaminación lumínica puede provocar son:

- **Económicos**, puesto que genera un sobreconsumo energético y un elevado gasto.
- **Ecológicos**, ya que afecta a la fauna y flora nocturna (plancton, aves, murciélagos, anfibios, peces, insectos, plantas...), alterando sus ciclos vitales (dependen del ciclo natural día-noche), provocando desorientación y dificultando las migraciones, impidiendo la polinización de ciertas plantas y alterando con ello las cadenas tróficas.
- **Sanitarios**, al provocar en el ser humano dificultades de visión, alteraciones en el sueño, fatiga...
- **Científicos y culturales**, al dificultar la observación del cielo nocturno (las estrellas), lo que supone una pérdida científica, cultural y paisajística importante.

Entre las **soluciones** que se pueden aplicar para su reducción, cabe mencionar: mejorar la calidad de la iluminación ambiental manteniendo su encendido solamente cuando sea necesario (apagado de iluminación ornamental y de exteriores a partir de ciertas horas) y con una intensidad moderada; utilizar lámparas de bajo consumo y bien orientadas (dirigidas hacia el suelo y no hacia el cielo, con pantallas paralelas a la horizontal del suelo); ordenanzas y reglamentación; campañas de información y educación ambiental.

Cita

“

«El derecho a un cielo nocturno no contaminado que permita disfrutar de la contemplación del firmamento debe considerarse como un derecho inalienable de la humanidad, equiparable al resto de los derechos ambientales, sociales y culturales, atendiendo a su incidencia en el desarrollo de todos los pueblos y a su repercusión en la conservación de la diversidad biológica.»

Declaración La Luz de las Estrellas.
La Palma, abril de 2007

En internet

@

Iniciativa La Luz de las Estrellas:

[www.starlight2007.net/
starlightes.htm](http://www.starlight2007.net/starlightes.htm)

Instituto de Astrofísica de Canarias:

www.iac.es/divulgacion.php

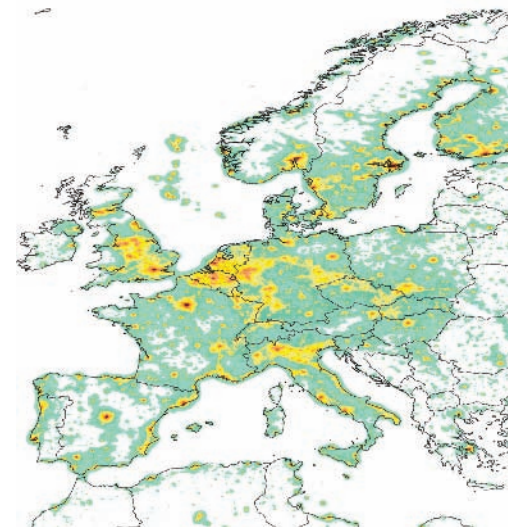


Fig. 10.37. Mapa de contaminación lumínica en Europa. (Fuente: P. Cinzano, F. Falchi [University of Padova], C. D. Elvidge [NOAA National Geophysical Data Center, Boulder]. Copyright Royal Astronomical Society. Reproduced from the Monthly Notices of the RAS by permission of Blackwell Science.)



El impacto de las partículas finas sobre la salud

La contaminación del aire es uno de los principales factores ambientales causante de impactos negativos en la salud humana. Tanto en lugares cerrados como en el exterior, está asociada con una amplia gama de impactos agudos y crónicos en la salud, dependiendo del tipo específico de impacto que provoquen las características del contaminante. Se estima que los países en vías de desarrollo del noroeste, sudeste y sur de Asia sufren aproximadamente dos tercios de los fallecimientos prematuros del mundo debido a la contaminación del aire, tanto en lugares cerrados como en el exterior.

El contaminante del aire más importante, desde el punto de vista de las enfermedades, son las partículas finas. La Organización Mundial de la Salud estima que las partículas en áreas urbanas en todo el mundo son las causantes de aproximadamente el 2 % de la mortalidad motivada por las enfermedades cardiopulmonares en adultos, el 5 % de la mortalidad motivada por cánceres de tráquea, bronquios y pulmones, y aproximadamente el 1 % de los fallecimientos prematuros en el mundo cada año. Asimismo, este organismo ha calculado que el humo en lugares cerrados procedente de combustibles sólidos, causa aproximadamente un tercio de las infecciones del tracto respiratorio bajo, aproximadamente una quinta parte de las enfermedades pulmonares obstructivas crónicas.

Los impactos de las partículas finas sobre la salud dependen considerablemente de sus características físicas y químicas. El tamaño de las partículas es muy importante, puesto que

influye sobre la facilidad y la profundidad con la que penetran en los pulmones. La capacidad del cuerpo para protegerse a sí mismo contra las partículas inhaladas y la susceptibilidad de las personas a las partículas están estrechamente vinculadas con el tamaño y su composición química. Las partículas superiores a $10\ \mu\text{m}$ de diámetro habitualmente no penetran en los pulmones y tienen un tiempo de permanencia corto en la atmósfera. Por consiguiente, la evidencia epidemiológica habitualmente vincula las partículas PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$ con efectos perjudiciales para la salud.

En la actualidad se ha puesto un mayor interés en las partículas ultrafinas (diámetro inferior a $0,1\ \mu\text{m}$). Debido a que son poco solubles, pueden desplazarse desde los pulmones hasta la sangre, y posteriormente a otras partes del cuerpo.

Los impactos sobre la salud de la contaminación del aire están estrechamente vinculados con los problemas de pobreza y de género. Las mujeres de familias pobres asumen una carga desproporcionada de los impactos de la contaminación del aire, debido a su mayor exposición al humo procedente del combustible de baja calidad que utilizan para cocinar (Fig. 10.37). En general, los pobres están más expuestos a la contaminación del aire debido a la localización de sus residencias y lugares de trabajo (Fig. 10.38), y a su susceptibilidad incrementada debida a factores como las deficiencias en la nutrición y en la atención médica.

Fuente: GEO4



Fig. 10.37. Mujer cocinando con su hijo en un país del tercer mundo, sometidos a la contaminación producida por las partículas finas contenidas en el humo.



Fig. 10.38. Fuerte contaminación en una ciudad asiática.