

INDICE GENERAL

1. HISTORIA DE LA VIDA Y DE LA TIERRA

- 1.1. Introducción
- 1.2. Gaia
- 1.3. Origen de la Tierra
- 1.4. Aparición de la vida
- 1.5. El hombre protagonista
- 1.6. Aún estamos a tiempo

2. EL SISTEMA TIERRA

- 2.1. Introducción
 - a) el motor de la tierra
 - b) subsistemas terrestres
- 2.2. Atmósfera:
 - a) estructura de la atmósfera
 - b) dinámica atmosférica:
 - efecto invernadero
 - corrientes atmosféricas
- 2.3. Hidrosfera:
 - a) el ciclo del agua
 - c) características y dinámica oceánica
 - b) las aguas continentales
 - las aguas superficiales
 - las aguas subterráneas
 - el agua como recurso
- 2.4. Geosfera:
 - a) rocas y minerales
 - b) el suelo:
 - componentes del suelo
 - formación y estructura
- 2.5. Biosfera:
 - a) seres autótrofos y heterótrofos
 - b) cadenas y redes tróficas
 - c) el ecosistema:
 - componentes abióticos
 - componentes bióticos
 - d) la pirámide trófica

3. EL HOMBRE EN EL SISTEMA TIERRA

3.3. El hombre, una especie animal:

- a) un animal pensante
- b) algunas formas de adaptación al medio

3.2. Problemas medioambientales vs. humanos

3.3. Dinámica 'ecológica' de la problemática ambiental

3.4. Modelos de relación del hombre con el medio:

- a) modelos de bajo impacto ambiental:
 - sociedades prehistóricas y antiguas
 - de la Edad Media a economías de subsistencia contemporáneas
- b) modelos de alto impacto ambiental:
 - Edad Moderna y Revolución Industrial
 - S. XX

3.5. Los límites del crecimiento:

- a) ¿somos conscientes de que existen límites?
- b) informe Meadows
- c) crecimiento exponencial:
 - CE de la población mundial
 - CE de la industria mundial
- d) las fuentes y sumideros planetarios

4. LA CONTAMINACIÓN

4.1. Contaminación atmosférica:

- a) fuentes de contaminación
- b) tipos de contaminantes
- c) condicionantes en la dispersión de contaminantes
- d) efectos de la contaminación atmosférica
- e) smog
- f) lluvia ácida
- g) alteración de la capa de ozono
- h) cambio climático
- i) soluciones a la contaminación atmosférica

4.2. Contaminación del agua:

- a) utilización de los recursos hídricos
- b) situación actual de la contaminación del agua
- c) contaminación en diferentes medios acuáticos
- d) origen de los contaminantes

- e) tipos de contaminantes:
- contaminantes físicos
 - contaminantes químicos
 - contaminantes biológicos

4.3. Contaminación del suelo:

- a) el problema de los residuos
- b) tipos de residuos sólidos:
- residuos industriales y mineros
 - residuos químicos
 - residuos forestales, ganaderos y agrícolas
 - residuos sólidos urbanos (RSU)
- c) tratamiento de RSU:
- vertederos incontrolados
 - vertederos controlados
 - plantas de reciclaje
 - incineración

5. LA ENERGÍA

5.1 Introducción

5.1. Los límites del consumo

5.2. Tipos de energía

- a) energías renovables:
- energía solar
 - energía eólica
 - energía hidráulica
 - energía del mar
 - energía de la biomasa
 - energía geotérmica
- b) energías no renovables:
- petróleo
 - gas natural
 - carbón
 - energía nuclear

6. EROSION Y DESERTIFICACION

6.1. Introducción

6.2. Factores favorecedores:

- a) factores naturales
- b) factores humanos:

- sobreexplotación y agricultura inadecuada
- sobreexplotación ganadera
- salinización y anegamiento de suelos
- deforestación
- incendios

6.3. La situación actual:

- en el mundo
- en España
 - los suelos
 - los bosques

7. BIODIVERSIDAD Y PÉRDIDA DE ESPECIES

7.1. Concepto y niveles de biodiversidad:

- interespecífica
- específica
- intraespecífica

7.2 La biodiversidad como recurso

7.3 ¿Por qué desaparecen las especies?:

- recorrido histórico
- en la actualidad:
 - alteración y pérdida del hábitat
 - deforestación e incendios
 - contaminación por actividades industriales
 - caza irresponsable
 - pesca
 - tráfico internacional de productos y especies
 - introducción de especies exóticas

7.4 El caso de España:

- la mayor biodiversidad de Europa
- factores que la determinan:
 - aspectos geomorfológicos
 - aspectos climáticos
 - actividad humana
- diversidad de ecosistemas
- diversidad de especies
- situación actual de la biodiversidad en España*

8. EL PAISAJE

8.1. Introducción

8.2. Distintas visiones del concepto paisaje

- artísticas y estéticas

- b) geografía física
 - c) enfoque cultural
 - d) perspectiva ecológica
 - e) paisaje como recurso
 - f) la mayor biodiversidad de Europa
- 8.3. Análisis y estudio del paisaje
- a) paisaje integral o total
 - b) paisaje visual
- 8.4. Elementos visuales del paisaje
- a) formas
 - b) líneas
 - c) color
 - d) textura
 - e) escala
 - f) configuración espacial
- 8.5. Componentes del paisaje
- a) componentes o elementos naturales (elementos abióticos)
 - litología
 - estructuras geológicas y formas de relieve
 - clima o condiciones atmosféricas
 - cursos y masas de agua
 - suelo
 - b) componentes o elementos vivos (elementos bióticos)
 - vegetación
 - fauna
 - c) componentes artificiales o antrópicos
- 8.6. Calidad visual del paisaje
- a) métodos indirectos
 - b) métodos directos
- 8.7. Fragilidad visual
- a) factores biofísicos
 - b) factores socioculturales
 - c) factores de visibilidad
- 8.8. El análisis del paisaje en la evaluación de impactos y recuperación de zonas afectadas
- a) impacto paisajístico
 - aparición de líneas rectas y formas geométricas
 - cambios bruscos de color y/o textura
 - modificación de la morfología del relieve
 - presencia de elementos artificiales de gran tamaño
 - acumulación de residuos y contaminación del entorno

- b) recuperación de paisajes alterados
 - remodelación de formas relieves y perfiles artificiales
 - recuperación de la cubierta vegetal autóctona
 - control de la erosión y de la pérdida de suelo fértil
 - creación y restauración de hábitats faunísticos
 - ocultación e integración paisajística de elementos discordantes,

9. ¿TODAVÍA HAY SOLUCIONES?

9.1. ¿Hacia dónde vamos?

9.2. El desarrollo sostenible: la solución

- a) la población
- b) la eficiencia tecnológica
- c) cambios en ideas y valores
 - cambios en la ciencia: el nuevo paradigma
 - la educación ambiental
 - una nueva sensibilidad política:
 - la cumbre de Río
 - política medioambiental comunitaria
 - España
- d) las acciones domésticas

9.3. Consideraciones finales

An aerial photograph of a dry, cracked landscape. A winding river flows through the center, with a dam visible in the distance. The terrain is heavily eroded, showing deep, irregular cracks and a textured surface. The overall color palette is dominated by earthy browns and tans, suggesting a semi-arid or desert environment. The lighting is bright, casting soft shadows that emphasize the topography.

CAP4
LA CONTAMINACIÓN

A) CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

4.1. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica constituye hoy en día probablemente el caso más grave de contaminación ambiental, y en el que se están invirtiendo más esfuerzos y recursos. Las razones de esta importancia estriban en el hecho de que, entre los fenómenos asociados a la contaminación atmosférica, alguno **está** provocando cambios a escala global que tendrán una influencia importante en el desarrollo futuro de la vida en la Tierra. Los gases de efecto invernadero o los que afectan a la capa de ozono son, sin duda, los más conocidos, pero otros, como los causantes de la lluvia ácida, tienen también una gran importancia aunque sea a escala local.

Podemos encontrar, según la fuente que consultemos, diferentes definiciones que tratan de explicarnos de forma rápida y sencilla qué es la contaminación atmosférica. Para el Consejo de Europa, la contaminación atmosférica es *“la presencia en el aire de una sustancia extraña o una variación significativa en la proporción de sus constituyentes, susceptible de provocar un efecto perjudicial o de crear una molestia”*. Para la legislación española sobre Protección del Medio Ambiente Atmosférico (Ley 38/72), la contaminación se define como *“la presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza”*.

En definitiva, se entiende por contaminación atmosférica no sólo la incorporación de sustancias extrañas al aire, sino también la variación de las proporciones de los gases habituales de la atmósfera, algo que hay que tener muy en cuenta en determinados fenómenos.

Cuando respiramos, el 99% de aire inhalado es oxígeno y nitrógeno, pero el resto está compuesto de pequeñas cantidades de otros gases, gotas minúsculas de varios líquidos y partículas ínfimas de sólidos. Muchas de estas sustancias se clasifican como contaminantes del aire y proceden fundamentalmente de los automóviles,

A) C. ATMOSFÉRICA

- 4.1. INTRODUCCIÓN
- 4.2. LOS CONTAMINANTES
- 4.3. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA
- 4.4. SOLUCIONES AL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

B) C. DEL AGUA

- 4.5. EL AGUA COMO RECURSO
- 4.6. INTRODUCCIÓN
- 4.7. CONTAMINACIÓN EN DIFERENTES MEDIOS ACUÁTICOS
- 4.8. ORIGEN DE LOS CONTAMINANTES
- 4.9. NATURALEZA DE LOS CONTAMINANTES

C) C. DEL SUELO

- 4.10. INTRODUCCIÓN
- 4.11. TIPOS DE RESIDUOS SÓLIDOS
- 4.12. TRATAMIENTO DE R.S.U.

plantas de energía, fábricas, disolventes limpiadores y otras fuentes relacionadas con la actividad humana.

4.2. LOS CONTAMINANTES

Las sustancias que se emiten a la atmósfera (contaminantes primarios) pueden producir contaminación por sí mismos o por la aparición, como consecuencia de reacciones químicas entre ellas, de otras moléculas también dañinas (contaminantes secundarios).

La contaminación puede, a su vez, producir efectos locales concretos, como la aparición de nieblas o *smog*, o lluvia ácida, o bien incidir en procesos globales que afectan a todo el Planeta, como el agujero de ozono o el cambio climático.

4.2.1. TIPOS DE CONTAMINANTES Y FUENTES

Podemos clasificar los contaminantes en dos grupos: sustancias químicas y fuentes de energía (radiaciones o calor).

a) Contaminantes primarios

La mayor parte de la contaminación atmosférica en los países industrializados (PD) proviene de 5 grupos de contaminantes primarios:

- **Óxidos de carbono**, generados por la utilización de combustibles fósiles y cuyo principal efecto se relaciona con el cambio climático.
- **Óxidos de nitrógeno y de azufre**, procedentes de las combustiones, sobre todo del carbón, y del abuso de fertilizantes nitrogenados, son los responsables primarios de la lluvia ácida.
- **Compuestos orgánicos volátiles**, principalmente hidrocarburos, entre ellos destacan el metano y el benzopireno que tienen efectos mutágenos y cancerígenos y,
- **compuestos clorados**, entre los que destacan los cloro-fluorocarbonos (CFC) utilizados como refrigerantes y en la industria de los plásticos y que afectan seriamente a la capa de ozono.
- **Partículas sólidas en suspensión**. Su forma y composición química es muy variada. Destacan por su especial toxicidad los metales como el plomo y el aluminio, que al no degradarse ni química ni biológicamente se acumulan en las cadenas tróficas

y producen graves problemas de salud en los seres vivos. El plomo procede principalmente de la combustión de la gasolina, fundidoras de metales, incineradoras de desechos urbanos y de extracciones mineras.

b) Contaminantes secundarios

- **Ozono troposférico y los nitratos de peroxiacetilo (PAN)** proceden de los óxidos de nitrógeno y de los hidrocarburos y son los principales componentes del *smog* fotoquímico, problema muy grave en las grandes ciudades y que causa importantes problemas de salud relacionados con el aparato respiratorio. El ozono que se produce como contaminante en la troposfera formando parte de la niebla y de la lluvia ácida por desgracia no puede ascender a sumarse a la capa alta de la atmósfera, que nos protege de las radiaciones ultravioleta.

- **Gotitas en suspensión de ácido sulfúrico y nítrico y partículas de sales de nitrato y sulfato** constituyen la lluvia ácida que provoca graves problemas en los ecosistemas acuáticos, destruye grandes extensiones de bosques y afecta seriamente a los materiales de edificios y monumentos históricos de todo el mundo.

Se consideran también como contaminante las formas de energía producidas por radiaciones ionizantes, el ruido y el calor. Las radiaciones proceden generalmente de las centrales nucleares y sus residuos, y del material radiactivo utilizado en medicina e investigación. Las radiaciones ionizantes, pueden incidir sobre las células de cualquier tejido e inducir a cualquier tipo de cáncer, o sobre las células germinales provocando alteraciones genéticas que pueden ser transmitidas a la descendencia.

Como hemos visto, los contaminantes, en su mayor parte en los PD (países desarrollados), son emitidos a la atmósfera por la quema de combustibles fósiles en plantas industriales y de energía (fuentes estacionarias) y en los vehículos de motor (fuentes móviles). En los países subdesarrollados (PVD) (en vías de desarrollo), donde casi toda la población vive en áreas rurales, la mayor parte de la contaminación atmosférica se produce por la combustión de la madera, estiércol y residuos de cosechas en estufas primitivas muy ineficaces o en fuegos abiertos. Este hecho además provoca el agotamiento de los bosques. La combustión también se produce en estos países por la quema de bosques y pastizales para crear tierras de cultivo, lo cual

aumenta considerablemente el dióxido y monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y el metano. La utilización masiva de fertilizantes ricos en nitrógeno aumenta el óxido nítrico y el metano lo emite el ganado y la descomposición anaeróbica del arroz húmedo.

La guerra es también una importante fuente de contaminación y degradación del aire. Sólo en la guerra del Golfo Pérsico en 1991 se incendiaron 600 pozos de petróleo. El hollín derivado de esta combustión se dispersó por todo el Planeta, llegando a lugares tan alejados como Hawai, situado a 12.900 Km de distancia.

Además de los contaminantes del aire exterior, se han encontrado de 20 a 150 sustancias químicas peligrosas en el interior de edificios, algunas veces sus concentraciones pueden llegar a ser entre 10 y 40 veces superiores que las del exterior. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) estima que los contaminantes interiores en las casas y oficinas en EEUU, originan hasta 6000 muertes por cáncer al año y hasta 20.000 más por inhalación de los productos de degradación del gas radiactivo radón. Otros problemas más leves derivados de la contaminación interior son vértigos, dolores de cabeza y en general problemas en el aparato respiratorio.

4.2.2. CONDICIONANTES EN LA DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES

La emisión de un contaminante varía en función de las características, de los focos y de las condiciones en las que dicha emisión se produce. Posteriormente se lleva a cabo su transporte, difusión o acumulación en los diferentes sumideros. Todo depende de la capacidad dispersante de la atmósfera según las condiciones atmosféricas.

Los factores que regulan la dinámica de la dispersión de los contaminantes son:

a) Condiciones atmosféricas

- **Variaciones de la temperatura del aire con la altura.** Normalmente la temperatura del aire disminuye con la altura. Estas variaciones dan lugar a los movimientos de masas de aire que determinan las condiciones de inestabilidad y estabilidad atmosféricas (cyclones o borrascas y anticiclones). Las primeras permiten la dispersión de la contaminación y en situación anticiclónica, se dificulta ésta.

En ocasiones, por ejemplo en invierno, el suelo enfría la atmósfera inmediata, resultando ésta más fría que las capas superiores. En esta situación denominada **inversión térmica** el aire más bajo no puede ascender y si existe contaminación ésta puede quedar atrapada. Es muy frecuente en ciudades con climas continentales como Madrid, en las que en ciertos días de invierno la contaminación del aire a nivel terreno puede alcanzar niveles muy nocivos.

- **Vientos dominantes generados por la dinámica atmosférica general.** Según las características de éstos se favorecerá o no la dispersión de los contaminantes. Así, si la velocidad del viento es alta se favorece la dispersión y las turbulencias la dificultan.

- **Precipitaciones.** Éstas transportan los contaminantes atmosféricos al suelo.

- **Presencia de nieblas.** Las nieblas atrapan los contaminantes en las áreas cercanas a la superficie del terreno. En un informe acerca de los hechos ocurridos en Londres en 1911, se acuñó el término *smog* como combinación de los términos *smoke* (humo) y *fog* (niebla).

- **Insolación.** Algunos contaminantes secundarios se producen cuando los primarios sufren transformaciones químicas en presencia de luz solar. Por ello a este tipo de contaminación se le ha llamado **smog fotoquímico**. Es el caso de los ácidos sulfúrico y nítrico producidos a partir de óxidos de azufre y nitrógeno respectivamente. Todas las ciudades modernas pueden padecer este problema, pero es mucho más acusado en aquéllas con climas secos y soleados. Y en ciudades como los Ángeles, Buenos Aires o México, los peores problemas de *smog* fotoquímico ocurren en verano.

b) Características geográficas y topográficas

- **Zonas costeras.** En estas zonas, durante el día la brisa marina desplaza hacia tierra los contaminantes y durante la noche el aire situado sobre el mar, al ser más cálido, asciende y deja paso al aire más frío y pesado de la costa, que lleva consigo los contaminantes.

- **Zonas de valles y laderas.** Durante el día el sol calienta el aire cercano a la superficie, con lo que se eleva transportando los contaminantes a capas más altas de la atmósfera. Pero en

las zonas montañosas el sol calienta antes las laderas que el fondo del valle, generando una masa de aire más cálido que el que está más abajo. Esta inversión de capas de aire impide que se desarrollen las corrientes de aire ascendente que dispersaría los contaminantes de las ciudades situadas en el valle.

- **Presencia de masas vegetales.** Éstas disminuyen la contaminación al frenar el aire y atrapar los contaminantes. Además actúan como sumidero de CO₂ utilizándolo en la fotosíntesis.

- **Presencia de núcleos urbanos.** Los edificios frenan el viento favoreciendo la acumulación de los contaminantes. Además el calor y la capa de contaminantes que se sitúan sobre la ciudad crean la llamada **isla de calor**. Ésta se forma porque el aire cálido en el interior de la ciudad asciende y la masa de aire frío desciende en la periferia. Se forma así una especie de cúpula que atrapa los contaminantes en la ciudad, y que no saldrán de ella, a menos que se presente un frente frío sobre el núcleo urbano.

c) Características de las emisiones

Éstas dependen de la **naturaleza del contaminante**. Si es más puede ser transportado a largas distancias. El tiempo que permanezcan en suspensión las partículas sólidas dependerá de su tamaño: las más finas pueden mantenerse en la troposfera durante una o dos semanas y en la estratosfera de uno a cinco años, por lo que tienen tiempo suficiente para ser dispersadas por todo el Planeta. Éstas son las más peligrosas para la salud, ya que pueden atravesar muy fácilmente las barreras naturales del aparato respiratorio.

- **Concentración y características fisicoquímicas.** La temperatura y la velocidad de la emisión del contaminante influye en la mayor o menor facilidad para atravesar capas de inversión.

- **Altura del foco emisor.** Cuanto mayor sea ésta, mayor posibilidad para superar las capas de inversión.

4.3. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Los efectos de la contaminación atmosférica son muy variados pero podrían agruparse fundamentalmente en **daños sobre los seres vivos y materiales de edificios** y alteraciones atmosféricas de carácter global, como el **cambio climático**, o regional, como el **smog**, la **lluvia ácida** y el **agujero de ozono**, aunque este último es regional sus consecuencias tendrán un carácter global. Evidentemente las alteraciones atmosféricas influirán también sobre los seres vivos y los materiales.

4.3.1. ALTERACIONES DE LOS SERES VIVOS Y BIENES MATERIALES

Daños sobre la salud humana y animal

Uno de los principales efectos es un mayor riesgo de padecer enfermedades respiratorias como cáncer de pulmón, bronquitis crónica y enfisema. Algunos contaminantes como el plomo y los óxidos de azufre pueden afectar al sistema nervioso central y periférico e inducir varios tipos de cánceres como el melanoma. El ozono componente del *smog* fotoquímico ocasiona tos, dificultad respiratoria, irritación de nariz, garganta y ojos y agrava las enfermedades crónicas como bronquitis, enfisema y trastornos cardíacos además de que elevadas concentraciones de CO disminuyen el aporte de oxígeno en los tejidos. Por último no se puede olvidar el efecto de las radiaciones ionizantes, que pueden incidir sobre las células de cualquier tejido provocando cualquier tipo cáncer, o sobre las células germinales, alterando los genes que pueden ser transmitidos a la descendencia.

Organismos vegetales

Los daños pueden ser ocasionados directa o indirectamente. Algunos contaminantes gaseosos como óxidos de nitrógeno y azufre, ozono y los PANs, entran directamente por los poros o estomas de las hojas. Pueden destruir la cubierta cerosa de éstas que ayuda a evitar la pérdida de agua y les protege del daño producido por enfermedades, plagas, sequía o heladas. Reduce el crecimiento de las plantas ya que afecta a la ingestión de nutrientes y reduce, asimismo la fotosíntesis. Esto se manifiesta en las hojas que toman un color amarillo o pardo y se caen. El abeto, pino y otras coníferas son especialmente vulnerables debido a su larga vida y a la exposición continua de sus agujas al aire contaminado. La contaminación del aire, especialmente

por ozono, amenaza algunos tipos de cultivos, sobre todo maíz, judías, algodón, trigo y cacahuete. Los efectos indirectos se deben a las alteraciones del suelo del que las plantas dependen para su supervivencia.

Ecosistemas acuáticos

La lluvia ácida es el principal impacto nocivo sobre la vida acuática en los lagos de agua dulce con contenido alcalino bajo o en áreas donde los suelos tienen poca capacidad de amortiguado de los ácidos. En primavera el agua altamente ácida procedente de fuertes lluvias y del deshielo arrastra además aluminio tóxico del suelo. Esto coincide con la época de apareamiento de la mayoría de peces y anfibios y provoca en éstos una obstrucción de las branquias, evitando el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono.

Bienes materiales

Cada año los contaminantes del aire ocasionan daños a diversos materiales de casas, edificios históricos automóbiles etc. que suponen un coste de varios miles de millones de dólares.

4.3.2. ALTERACIONES ATMOSFÉRICAS

a) Nieblas contaminantes o *smog*

Existen dos tipos de *smog*, clásico o industrial y fotoquímico.

Smog clásico o industrial

Este tipo de niebla está compuesta por una mezcla de dióxido de azufre (SO₂), gotitas suspendidas de ácido sulfúrico y partículas sólidas.

En 1911, por lo menos 1.150 londinenses murieron por los efectos del humo del carbón. En un incidente aún más grave, en 1952, murieron en Londres 4.000 personas a causa de la contaminación atmosférica. El autor de un informe acerca de este desastre acuñó la palabra *smog* como combinación de los términos *smoke* (humo) y *fog* (niebla) para designar a la mezcla de humo y niebla que frecuentemente está suspendida sobre Londres.

Las graves consecuencias sobre la salud de la población londinense motivaron que el gobierno tomara fuertes medidas para evitar la contaminación y actualmente la calidad del aire londinense es

bastante aceptable. Esto se ha conseguido gracias a la utilización de calderas de carbón y petróleo provistas de controles adecuados, por lo que actualmente el *smog* industrial en los PD rara vez es un problema. Sin embargo este no es el caso de los PSD como China o algunos países de Europa oriental como Polonia, donde grandes cantidades de carbón son quemadas sin controles adecuados.

Smog fotoquímico

El *smog* fotoquímico es una mezcla compleja de contaminantes del aire que se producen en la atmósfera por la reacción de los hidrocarburos y óxidos de nitrógeno bajo la influencia de la luz solar, por ello reciben el nombre genérico de **oxidantes fotoquímicos**. Los principales son el ozono, el nitrato de peroxiacetileno (PAN) y diversos aldehídos.

En Estados Unidos, a partir de 1940, el rápido desarrollo del uso del automóvil produjo un gran aumento del *smog* fotoquímico y también se han producido graves problemas entre la población. Así en Pensilvania, cerca de 6.000 personas de una población de 14.000 habitantes enfermaron a causa de una gran concentración de contaminantes de azufre, favorecida por un tiempo estable y cuyos focos de emisión fueron una fábrica de acero, una fundidora de zinc y una planta de ácido sulfúrico. Otros episodios se han dado en los años 60 en ciudades como Los Angeles y Nueva York. Todo ello ha conducido a la elaboración de programas de control muy estrictos en los años 70.

Todas las grandes ciudades modernas tienen este problema, pero es mucho más común en aquellas con climas áridos y secos y con alto tráfico de vehículos. Ciudades con problemas graves de *smog* fotoquímico son Los Angeles, Denver, Sidney, México, y Buenos Aires donde los peores episodios de *smog* ocurren en verano. Otros elementos del clima y la topografía influyen decisivamente en la severidad del *smog*, así como la densidad de población e industria y los combustibles utilizados en la industria, calefacción y el transporte.

La lluvia y los vientos ayudan a limpiar el aire de contaminantes y los vientos pueden arrastrarlos y traer aire más limpio, pero en ambos casos lo único que se ha conseguido es trasladar el contaminante al suelo y al agua o a la atmósfera de otros lugares. Las montañas y los edificios disminuyen la velocidad del viento y reducen por tanto la dispersión de los contaminantes. Normalmente durante el día el aire cercano al terreno se calienta y asciende dejando libre la

entrada de aire más frío y denso de áreas cercanas. Este intercambio de masas de aire impide que la concentración de los contaminantes a ras del suelo alcance niveles peligrosos. Sin embargo en invierno en situación anticiclónica se puede formar una capa de aire más cálido sobre el aire frío a nivel del terreno. Esta situación recibe el nombre de **inversión térmica** y en ella los contaminantes pueden alcanzar niveles muy nocivos e incluso letales, este hecho es bastante común en algunos días de invierno en Madrid.

b) Lluvia ácida

Se designa con el término de lluvia ácida a la combinación de la deposición seca y húmeda de ácidos sulfúrico y nítrico y sales de sulfato y nitrato sobre la superficie terrestre. Al quemar combustibles fósiles se liberan dióxido de azufre y nitrógeno que pueden caer en los alrededores del foco emisor como sedimento seco. El resto asciende arrastrado por el viento y se combina con el vapor de agua y en presencia de luz solar, forman ácido sulfúrico y nítrico y sales de sulfato y nitrato.

Estas sustancias descienden a la superficie terrestre en forma húmeda como lluvia o nieve ácida, y en forma seca como gases, niebla, rocío o partículas secas e invisibles que al caer en una zona determinada puede producir los mismos efectos negativos.

La lluvia normal es ligeramente ácida, con un pH medio entre 5.0 y 5.6, y esa acidez es beneficiosa para el enriquecimiento del suelo, pero en zonas muy contaminadas puede llegar a ser 10 veces más ácida o incluso más, llegando a 2.3, pH tan ácido como el zumo de limón, una acidez tan acusada produce serios problemas sobre los ecosistemas y graves problemas de salud sobre las poblaciones humanas.

Procedencia de los óxidos de azufre y nitrógeno

El azufre existe de forma natural en el carbón, el petróleo y el gas natural y el nitrógeno se encuentra en los combustibles líquidos y en la atmósfera y también se evapora de los fertilizantes agrícolas. Al quemar los combustibles se liberan óxidos de azufre y de nitrógeno.

La lluvia ácida no es un fenómeno exclusivamente provocado por la acción humana. En la Naturaleza, los volcanes, las turberas y las plantas en descomposición liberan óxidos de azufre, y por tanto participan en la formación de un tipo natural de lluvia ácida que es

igualmente nociva para los seres vivos. No obstante, la magnitud de estas emisiones naturales resulta despreciable frente a la polución causada por las acciones humanas. De éstas, una de las que más contribuye a la emisión de las sustancias responsables de la lluvia ácida es la obtención de energía eléctrica en las centrales térmicas, le siguen otro tipo de industrias e influye también en gran medida el transporte por vehículos a motor.

En Europa y Norteamérica se vierten cada año de 110 a 115 toneladas de dióxido de azufre. Aunque globalmente el 50% del azufre atmosférico es de origen natural, en regiones muy industrializadas el 90% del azufre es obra del hombre. Pero el dato más significativo es que desde 1950 las emisiones planetarias de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno se han triplicado.

La lluvia ácida es un problema global

Uno de los principales problemas de la lluvia ácida es que no sólo se da en los lugares donde se producen los contaminantes, sino que normalmente se produce en otras zonas que pueden llegar a estar muy alejadas. Este hecho se vio agravado por la política imperante en los años sesenta y setenta que se basaba en la idea de que la atmósfera tenía capacidad para disolver la contaminación, sin embargo no cayeron en la cuenta de que, como también ocurre en otros sistemas, esta capacidad no era ilimitada. Con este fin, durante las tres últimas décadas se construyeron cada vez más altas las chimeneas de las industrias y centrales eléctricas, de esta manera lograban alejar y dispersar la polución lo más lejos posible, de forma que no contaminara el entorno inmediato. Al alcanzar zonas altas de la atmósfera, la contaminación puede ser arrastrada por los vientos dominantes a zonas muy alejadas. Se ha descrito en algún caso que en un plazo de tres a cinco días, la contaminación puede desplazarse hasta 1.000-2.000 Km del foco emisor. Éste es el caso de la lluvia ácida sobre Escocia y Escandinavia procedente de las industrias de Gran Bretaña y Alemania. O en Canadá, cuyo foco emisor se encuentra en Estados Unidos. En Suecia, por ejemplo, casi el 90 % del azufre depositado procede de otros países y, por otro lado, este mismo país exporta dos tercios de sus propias emisiones. Sólo en Europa el Reino Unido exporta 3.750.000 toneladas de óxido de azufre y EEUU alcanza la cifra de 24.600.000.

Efectos de la lluvia ácida

1. Provoca un efecto dramático sobre la vida de peces, plantas acuáticas y microorganismos cuando cae directamente o se arrastra por ríos y arroyos a los lagos. La mayoría de las plantas y animales que viven en los lagos no tolera el agua ácida y muchas especies mueren o pierden su capacidad reproductora. Sólo en Escandinavia 20.000 de los 90.000 lagos de Suecia aparecen limpios y transparentes, pero desgraciadamente el agua es tan clara porque está desprovista de vida. Un lago sin contaminar rebosa de diminutas plantas y animales de muchas clases distintas que son la base de una compleja cadena alimenticia, por lo que estará afectada toda la vida salvaje de la zona incluyendo seres vivos terrestres.

2. Contaminación de los peces que consumen los humanos con el altamente tóxico dimetil mercurio. Los compuestos inorgánicos de mercurio depositados en el fondo del lago, naturalmente o por la actividad humana, son transformados en medio ácido en derivados orgánicos, entre los que se encuentra el tóxico dimetil mercurio que se fija en los tejidos de animales y plantas. Hay que tener en cuenta que aun pequeñas cantidades de tóxico, por pasar de un eslabón a otro de la cadena, pueden ser amplificadas biológicamente a concentraciones mucho más altas que las iniciales.

3. Afecta seriamente a los árboles dañando tanto sus hojas como sus raíces y los hace más susceptibles a enfermedades, insectos, sequía, heladas, hongos y musgos que prosperan mejor en condiciones ácidas. Este efecto puede ser directo sobre el árbol o a través del suelo, cuyos componentes son alterados, modificando el delicado equilibrio vegetal.

4. Provoca el lavado o lixiviado de metales tóxicos como el cobre y el plomo de las tuberías del agua en las ciudades, alterando la potabilidad del agua que llega a los consumidores.

5. Disminuye el crecimiento de algunos cultivos como el tomate, espinaca, algodón...

6. Ocasiona y agrava muchos trastornos respiratorios y conduce a la muerte prematura.

7. Daña los materiales de edificios, monumentos, obras de ingeniería y máquinas de transporte (aviones barcos, automóviles...) pudiendo incluso llegar a destruirlos. En diversas partes del mundo se

deterioran edificios de gran importancia. La piedra de los muros de la catedral de San Pablo en Londres se está desmoronando. El Taj Mahal en la India está seriamente amenazado por las refinerías de petróleo. En España, el claustro de la catedral de Oviedo y los muros y arbotantes de la catedral de Burgos han sufrido serios daños a causa de la lluvia ácida que son muy difíciles de reparar.

c) Alteraciones en la capa de ozono

Quizá una de las noticias que más impactó a la opinión pública en el momento de su publicación fue el descubrimiento de un agujero en la capa de ozono. En principio no entendimos muy bien el problema, de una parte el desconocimiento general que existía sobre este elemento, el ozono, después aquello de la capa, y por último la grave repercusión del daño que en ella se estaba produciendo. Los científicos y divulgadores se encargaron de explicarnos que ese tejado invisible que forma la capa de ozono nos protege de las mortales radiaciones ultravioletas que proceden del Sol, y que somos nosotros con actitudes tan cotidianas como usar una nevera o pulsar un aerosol, los que contribuimos a agrandar ese roto.

Una vez más el problema es global, el tejado nos cubre a todos, y por tanto la solución, **retejar**, debería llegar por el esfuerzo de todos.

¿Qué es el Ozono?

La mayor parte del oxígeno atmosférico se encuentra en forma de moléculas compuestas por dos átomos (O_2) de este elemento. El ozono, sin embargo, es un gas que presenta la particularidad de que sus moléculas se componen de tres átomos de oxígeno (O_3).

La composición, función y otras cuestiones de interés de esta molécula se explican en el Apartado Tierra.

Entre las muchas reacciones químicas que provoca la destrucción de la capa de ozono estratosférico, podemos utilizar como ejemplo una en la que interviene un átomo de cloro (Cl).

El cloro es el principal responsable de la destrucción del ozono estratosférico. El incremento de cloro presente en la atmósfera se debe, en buena parte, a los gases clorofluorocarbonados utilizados como propelentes en multitud de envases a presión, como refrigerantes y en la fabricación de plásticos. Cuando un átomo de

cloro reacciona con una molécula de ozono se produce, por un lado, monóxido de cloro (ClO) y, por otro, oxígeno molecular (O₂).

Pero cuando el monóxido de cloro se encuentra con un átomo de oxígeno, libera su propio átomo de oxígeno dando lugar a una nueva molécula de O₂.

El cloro, libre de nuevo, puede volver a reaccionar con otra molécula de ozono iniciándose de nuevo el ciclo y multiplicándose de esta manera su poder de destrucción del ozono.

Historia del agujero

En 1982, y dentro de lo que podía considerarse como una medición rutinaria dentro de un proyecto de investigación sobre el volumen de ozono presente en la atmósfera, el investigador japonés Sigeru Chubachi, comenzó a registrar lecturas que mostraban un descenso de la cantidad de ozono en la estratosfera. Las primeras explicaciones a tal efecto fueron interpretadas como fallos del equipo de medición. Tras las comprobaciones pertinentes de los equipos se desechó esta causa, y Chubachi quedó convencido de que algo raro sucedía en la atmósfera. Estos datos fueron presentados en numerosas reuniones científicas pero no tuvieron mayores repercusiones. En 1984, aparece un artículo en una revista científica de gran prestigio, en la que unos investigadores británicos ofrecen datos de una reducción de la capa durante la primavera austral de hasta el 30%.

Las consecuencias inmediatas en la disminución de la capa de ozono son el aumento de enfermedades de la piel (cánceres) y ojos (cataratas) en personas y animales, además de daños en las plantas (sobre su metabolismo, crecimiento y floración) que serían provocados por una mayor exposición a las dañinas radiaciones ultravioletas. Aunque es más difícil de precisar parece que estas radiaciones debilitan también el sistema inmunológico animal, debido a los cambios que producen en diversas moléculas (ácidos nucleicos y proteínas).

Se calcula que cada uno por ciento de reducción del ozono hará aumentar en un 5% ciertos tipos de cáncer epidérmico. La Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo en su celebre Informe Brundtlan, destaca que *“una pérdida considerable de ozono podría tener efectos catastróficos sobre la salud de los seres humanos y del ganado y de algunas formas de vida en la base de la cadena alimentaria marina”*. Pero, al parecer, el mayor peligro epidemiológico