

Autor: Luis Echarri
 Asignatura: Población, ecología y ambiente
 2007

Tema 7 Contaminación de la atmósfera	1
Contaminación primaria y secundaria	1
Sustancias que contaminan la atmósfera	2
Óxidos de carbono	2
Óxidos de azufre	3
Óxidos de nitrógeno	4
Compuestos orgánicos volátiles	5
Partículas y aerosoles	5
Oxidantes	6
Substancias radiactivas	7
Calor	8
Ruido	8
Contaminación electromagnética	8
Procedencia de contaminación atmosférica	9
Contaminación interior	9
Contaminación sonora	10
Smog	11
Smog Industrial	11
Smog fotoquímico	12
Deposición ácida	13
Causas de la deposición ácida	14
Cambio climático y efecto invernadero	15
El clima es variable	15
Efecto invernadero	15
Cambio climático	17
Consecuencias del cambio climático	18
Disminución del ozono estratosférico	18
Ozono estratosférico: filtro de las radiaciones ultravioleta	18
La Antártida un lugar especialmente sensible: "Agujero" de ozono de la Antártida	20
La sociedad reacciona: Soluciones	20

Tema 7 Contaminación de la atmósfera

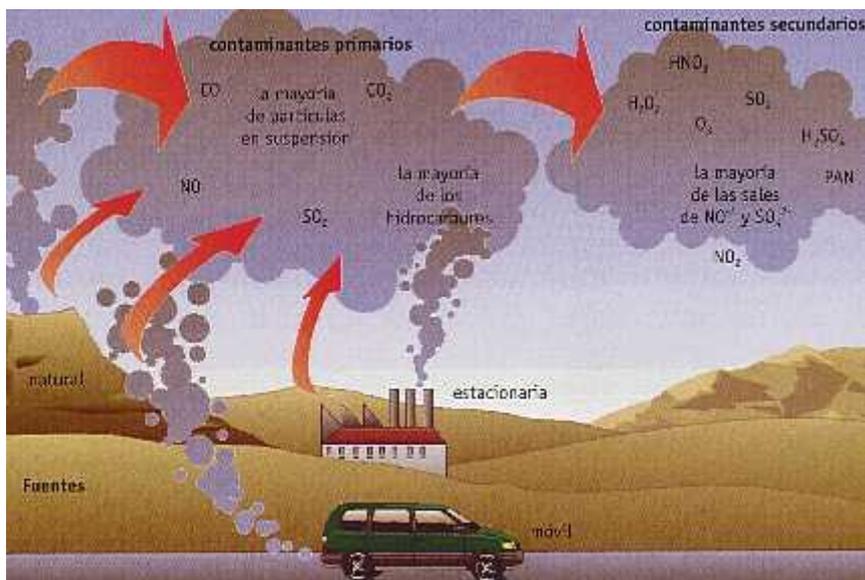
Una atmósfera contaminada puede dañar la salud de las personas y afectar a la vida de las plantas y los animales. Pero, además, los cambios que se producen en la composición química de la atmósfera pueden cambiar el clima, producir lluvia ácida o destruir el ozono, fenómenos todos ellos de una gran importancia global.

Contaminación primaria y secundaria

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

- Contaminantes primarios.- Aquellos procedentes directamente de las fuentes de emisión

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



Contaminación primaria y secundaria

Sustancias que contaminan la atmósfera

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

1. Óxidos de carbono
2. Óxidos de azufre
3. Óxidos de nitrógeno
4. Compuestos orgánicos volátiles
5. Partículas y aerosoles
6. Oxidantes
7. Sustancias radiactivas
8. Calor
9. Ruido
10. Otros contaminantes

Óxidos de carbono

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

Dióxido de carbono

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

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

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

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

Emisiones españolas.- En España, aproximadamente un 35% del emitido procede de combustiones diversas (industriales, domésticas, comerciales, etc.), un 25% de las plantas eléctricas, y alrededor de otro 25% procede del transporte.

La emisión española de CO₂ está por debajo de la media europea y así se justifica la postura de la Unión Europea en la Conferencia de Tokio de diciembre de 1997 sobre reducción de emisiones de gases con efecto invernadero. Toda Europa en conjunto disminuirá las emisiones de CO₂ hasta el año 2010, pero a España se le permite aumentarlas en una proporción de un 15%, porque en la actualidad sus emisiones son más bajas que la media. El aumento español quedará compensado con mayores reducciones en otros países europeos.

Monóxido de carbono

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

Es tóxico porque envenena la sangre impidiendo el transporte de oxígeno. Se combina fuertemente con la hemoglobina de la sangre y reduce drásticamente la capacidad de la sangre de transportar oxígeno. Es responsable de la muerte de muchas personas en minas de carbón, incendios y lugares cerrados (garajes, habitaciones con braseros, etc.) Alrededor del 90% del que existe en la atmósfera se forma de manera natural, en la oxidación de metano (CH₄) en reacciones fotoquímicas. Se va eliminando por su oxidación a CO₂.

La actividad humana lo genera en grandes cantidades siendo, después del CO₂, el contaminante emitido en mayor cantidad a la atmósfera por causas no naturales. Procede, principalmente, de la combustión incompleta de la gasolina y el gasoil en los motores de los vehículos.

Óxidos de azufre

Incluyen el dióxido de azufre (SO₂) y el trióxido de azufre (SO₃).

Dióxido de azufre (SO₂)

Importante contaminante primario.

Es un gas incoloro y no inflamable, de olor fuerte e irritante.

Su vida media en la atmósfera es corta, de unos 2 a 4 días. Alrededor de la mitad que llega a la atmósfera vuelve a depositarse en la superficie y el resto se convierte en iones sulfato (SO₄²⁻). Por este motivo es un importante factor en la lluvia ácida.

En conjunto, más de la mitad del que llega a la atmósfera es emitido por actividades humanas, sobre todo por la combustión de carbón y petróleo y por la metalurgia. Otra fuente muy importante es la oxidación del H₂S. Y, en la naturaleza, es emitido en la actividad volcánica. En algunas áreas industrializadas hasta el 90% del emitido a la atmósfera procede de las actividades humanas, aunque en los últimos años está disminuyendo su emisión en muchos lugares gracias a las medidas adoptadas.

En España sus emisiones se concentran en Galicia y Aragón, al estar situadas en estas Comunidades importantes instalaciones productoras de electricidad que usan

combustibles de baja calidad. En los últimos años se están produciendo importantes disminuciones en la emisión de este contaminante (de 1980 a 1990 su producción ha disminuido en un 33%) como consecuencia de estar sustituyéndose los carbones españoles (de baja calidad) por combustibles de importación, más limpios. De todas formas las cantidades producidas siguen siendo bastante grandes y, de hecho, es el contaminante primario emitido en mayor cantidad después del CO.

Trióxido de azufre (SO₃)

Contaminante secundario que se forma cuando el SO₂ reacciona con el oxígeno en la atmósfera. Posteriormente este gas reacciona con el agua formando ácido sulfúrico con lo que contribuye de forma muy importante a la lluvia ácida y produce daños importantes en la salud, la reproducción de peces y anfibios, la corrosión de metales y la destrucción de monumentos y construcciones de piedra, como veremos más adelante.

Otros

Algunos otros gases como el **sulfuro de dihidrógeno** (H₂S) son contaminantes primarios, pero normalmente sus bajos niveles de emisión hacen que no alcancen concentraciones dañinas.

Óxidos de nitrógeno

Incluyen el óxido nítrico (NO), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el óxido nitroso (N₂O). NO_x (conjunto de NO y NO₂)

El óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) se suelen considerar en conjunto con la denominación de NO_x. Son contaminantes primarios de mucha trascendencia en los problemas de contaminación.

El emitido en más cantidad es el NO, pero sufre una rápida oxidación a NO₂, siendo este el que predomina en la atmósfera. NO_x tiene una vida corta y se oxida rápidamente a NO₃⁻ en forma de aerosol o a HNO₃ (ácido nítrico). Tiene una gran trascendencia en la formación del smog fotoquímico, del nitrato de peroxiacetilo (PAN) e influye en las reacciones de formación y destrucción del ozono, tanto troposférico como estratosférico, así como en el fenómeno de la lluvia ácida. En concentraciones altas produce daños a la salud y a las plantas y corroe tejidos y materiales diversos.

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

Óxido nitroso(N₂O)

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

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

Otros

Algunos otros gases como el **amoníaco** (NH₃) son contaminantes primarios, pero normalmente sus bajos niveles de emisión hacen que no alcancen concentraciones dañinas. El amoníaco que se emite a la atmósfera en España se origina casi exclusivamente en el sector agrícola y ganadero.

Compuestos orgánicos volátiles

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

Metano (CH₄)

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

Es un contaminante primario que se forma de manera natural en diversas reacciones anaeróbicas del metabolismo. El ganado, las reacciones de putrefacción y la digestión de las termitas forma metano en grandes cantidades. También se desprende del gas natural, del que es un componente mayoritario y en algunas combustiones. Asimismo se forman grandes cantidades de metano en los procesos de origen humano hasta constituir, según algunos autores, cerca del 50% del emitido a la atmósfera.

Desaparece de la atmósfera a consecuencia, principalmente, de reaccionar con los radicales OH formando, entre otros compuestos, ozono. Su vida media en la troposfera es de entre 5 y 10 años.

Se considera que no produce daños en la salud ni en los seres vivos, pero influye de forma significativa en el efecto invernadero y también en las reacciones estratosféricas. En España la gran mayoría del metano emitido a la atmósfera procede de cuatro fuentes, en proporciones muy similares: la agricultura y ganadería, el tratamiento de residuos, el tratamiento y distribución de combustibles fósiles y las emisiones naturales que tienen lugar, sobre todo, en las zonas húmedas.

Otros hidrocarburos

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

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

CFCs (Clorofluorocarburos)

Moléculas orgánicas formadas por átomos de Cl y F unidos a C. Por ejemplo CCl₃F (Freón-11) o CCl₂F₂ (Freón-12). Se han utilizado mucho en los "sprays", frigoríficos, etc. Son especialmente importantes por su papel en la destrucción del ozono en las capas altas de la atmósfera.

Partículas y aerosoles

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

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

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

Aerosoles primarios

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

Aerosoles secundarios

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

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

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

Impacto sobre el clima

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

Oxidantes

Ozono (O_3) (estratosférico y troposférico)

El ozono es la sustancia principal en este grupo, aunque también otros compuestos actúan como oxidantes en la atmósfera.

Ozono (O_3)

El ozono, O_3 , es una molécula formada por átomos de oxígeno. Se diferencia del oxígeno molecular normal en que este último es O_2 .

El ozono es un gas de color azulado que tiene un fuerte olor muy característico que se suele notar después de las descargas eléctricas de las tormentas. De hecho, una de las maneras más eficaces de formar ozono a partir de oxígeno, es sometiendo a este último a potentes descargas eléctricas.

Es una sustancia que cumple dos papeles totalmente distintos según se encuentre en la estratosfera o en la troposfera.

Ozono estratosférico

El que está en la estratosfera (de 10 a 50 km.) es imprescindible para que la vida se mantenga en la superficie del planeta porque absorbe las letales radiaciones ultravioletas que nos llegan del sol. (Para su estudio más detallado, ver Disminución del ozono estratosférico)

Ozono troposférico

El ozono que se encuentra en la troposfera, junto a la superficie de la Tierra, es un importante contaminante secundario. El que se encuentra en la zona más cercana a la superficie se forma por reacciones inducidas por la luz solar en las que participan, principalmente, los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos presentes en el aire. Es el componente más dañino del smog fotoquímico y causa daños importantes a la salud, cuando está en concentraciones altas, y frena el crecimiento de las plantas y los árboles. En la parte alta de la troposfera suele entrar ozono procedente de la estratosfera, aunque su cantidad y su importancia son menores que el de la parte media y baja de la troposfera.

En España, como en otros países mediterráneos, durante el verano se dan condiciones meteorológicas favorables para la formación de ozono: altas temperaturas, cielos despejados, elevada insolación y vientos bajos, especialmente en la costa mediterránea y sur de la Península. En bastantes ocasiones a lo largo del año se suelen superar, en numerosas estaciones de control, los umbrales marcados por la Directiva de la Unión Europea de protección a la salud, de protección a la vegetación y los de información a la población; pero no suele haber episodios de superación del umbral de alerta, a diferencia de otras zonas de Europa o Estados Unidos.

Las concentraciones de ozono en la troposfera por encima de Europa son por lo general entre tres y cuatro veces superiores a las de la era preindustrial, debido principalmente al enorme incremento de las emisiones de óxidos de nitrógeno procedentes de la industria y de los vehículos.

Los umbrales de concentración fijados para proteger la salud humana, la vegetación y los ecosistemas suelen superarse en la mayor parte de los países europeos varias veces al año.

Substancias radiactivas

Isótopos radiactivos como el radón 222, yodo 131, cesio 137 y cesio 134, estroncio 90, plutonio 239, etc. son emitidos a la atmósfera como gases o partículas en suspensión. Normalmente se encuentran en concentraciones bajas que no suponen peligro, salvo que en algunas zonas se concentren de forma especial.

El problema con estas sustancias está en los graves daños que pueden provocar. En concentraciones relativamente altas (siempre muy bajas en valor absoluto) pueden, provocar cáncer, afectar a la reproducción en las personas humanas y el resto de los seres vivos dañando a las futuras generaciones, etc.

Su presencia en la atmósfera puede ser debida a fenómenos naturales. Por ejemplo, algunas rocas, especialmente los granitos y otras rocas magmáticas, desprenden isótopos radiactivos. Por este motivo en algunas zonas hay una radiactividad natural mucho más alta que en otras. Así, por ejemplo, a finales del siglo pasado se pusieron de moda algunas playas de Brasil en las que la radiactividad era más alta que lo normal, porque se pensaba que por ese motivo tenían propiedades curativas.

En la actualidad preocupa de forma especial la **acumulación de radón** que se produce en casas construidas sobre terrenos de alta emisión de radiactividad. Según algunos

estudios hechos en Estados Unidos, hasta un 10% de las muertes por cáncer de pulmón que se producen en ese país se podrían deber a la acción carcinogénica del radón 222. El iodo 131, cuya vida media es de 8,1 años, se produce en abundancia en los procesos de fisión nuclear, se deposita en la hierba y entra en la cadena alimenticia humana a través de la leche. Se tiende a acumular en la glándula tiroides en donde puede provocar cáncer, especialmente en niños que reciben más de 1500 mSv por este motivo. El cesio 137 y el cesio 134 que se forma a partir del 137 se pueden acumular en los tejidos blandos de los organismos.

El estroncio 90 es muy peligroso, con una vida media de 28 años. Químicamente es similar al calcio lo que facilita el que se deposite en los huesos y puede causar cánceres y daños genéticos.

Algunas actividades humanas en las que se usan o producen isótopos radiactivos, como las armas nucleares, las centrales de energía nuclear, y algunas prácticas médicas, industriales o de investigación, también producen contaminación radiactiva. Bien conocida es la explosión ocurrida en la central de Chernobyl que produjo una nube radiactiva que se extendió a miles de kilómetros, contaminando países de todo el hemisferio Norte.

Calor

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

Su influencia puede ser importante en la génesis de los contaminantes secundarios. Las combustiones domésticas y las industriales, seguidas del transporte y las centrales de energía son las principales fuentes de calor, aunque su importancia relativa varía mucho de unos lugares a otros. La falta de vegetación en las ciudades y el exceso de superficies pavimentadas, entre otros factores, agravan el problema.

Ruido

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

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

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

Contaminación electromagnética

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

Experimentalmente se ha comprobado que el electromagnetismo altera el metabolismo celular, por lo que se supone que también podría dañar la salud humana (mayores

riesgos de leucemia o cáncer cerebral, etc.), aunque esto no está comprobado. De todas formas las evidencias son lo suficientemente fuertes como para que sea un tema que se sigue investigando para conocer mejor el riesgo real que supone.

Procedencia de contaminación atmosférica

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

Vehículos

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

Centrales térmicas e industria

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

Contaminación interior

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

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

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

El **tabaco** provoca más muertes y enfermedades que cualquier otro contaminante del ambiente. Está demostrado que causa importantes enfermedades del corazón y los vasos sanguíneos, cáncer de pulmón, bronquitis, enfisema, etc. Se calcula que en todo el mundo, al menos 2,5 millones de fumadores mueren prematuramente por los efectos del humo de los cigarrillos. El fumador pasivo también está expuesto a un riesgo mayor de contraer estas enfermedades, siempre que se encuentre en un ambiente cargado varias horas al día.

El **radón 222** es un gas radiactivo incoloro, inodoro e insípido que se forma de manera natural en las rocas del suelo, especialmente en los granitos y esquistos. Puede penetrar desde el suelo y acumularse en el interior de los edificios poco ventilados, alcanzando concentraciones peligrosas. El que sale a la atmósfera se diluye con rapidez y no llega a niveles de riesgo. Estudios serios demuestran que la radiactividad emitida por este gas cuando entra en los pulmones es responsable de entre el 10 y el 15% de los cánceres de

pulmón. Su efecto se suma al del tabaco, porque las moléculas del gas se adhieren a las partículas del humo y se depositan en la pared de los alvéolos, sometiendo a sus células a intensas dosis de radiactividad. El efecto de este contaminante hay que tenerlo en cuenta especialmente en los edificios construidos en suelos que por sus características geológicas son productores de altas cantidades de radón.

El **asbesto** (o amianto) es un mineral fibroso incombustible y muy mal conductor del calor y la electricidad, lo que hace que sea muy usado como aislante en la construcción y algo también en los automóviles. Al ser fibroso desprende pequeñas partículas que entran en los pulmones, dañándolos, por lo que son responsables de enfermedades y muertes prematuras, especialmente entre las personas que trabajan con este material, instalándolo, fabricándolo, etc. Sin embargo, si el asbesto está formando parte de los elementos de construcción de tal forma que no suelte partículas o fibras al aire, su uso no plantea problemas especiales, según muchos expertos.

El **formaldehído** es un producto muy usado en la fabricación de contrachapeados, aglomerados, espumas de relleno y aislamiento, etc. La exposición prolongada a niveles bajos de esta sustancia provoca problemas respiratorios, vértigos, dolores de cabeza, etc. En los países subdesarrollados la principal contaminación en el aire del interior de las casas procede de las combustiones en cocinas mal diseñadas y ventiladas. Las partículas que se liberan al quemar madera, estiércol u otros combustibles son responsables de la gran incidencia de enfermedades respiratorias en estos países.

Contaminación sonora

Los sonidos muy fuertes provocan molestias que van desde el sentimiento de desagrado y la incomodidad hasta daños irreversibles en el sistema auditivo. La presión acústica se mide en decibelios (dB) y los especialmente molestos son los que corresponden a los tonos altos (dB-A). La presión del sonido se vuelve dañina a unos 75 dB-A y dolorosa alrededor de los 120 dB-A. Puede causar la muerte cuando llega a 180 dB-A. El límite de tolerancia recomendado por la Organización Mundial de la Salud es de 65 dB-A. El oído necesita algo más de 16 horas de reposo para compensar 2 horas de exposición a 100 dB (discoteca ruidosa). Los sonidos de más de 120 dB (banda ruidosa de rock o volumen alto en los auriculares) pueden dañar a las células sensibles al sonido del oído interno provocando pérdidas de audición.

España es el país más ruidoso de Europa y los datos obtenidos de 23 ciudades españolas en las que se ha realizado el mapa de ruidos, señalan que el nivel de ruido equivalente, durante el día, está en valores que varían de los 62 a los 73 dB.

Reducción de la contaminación sonora

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

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

Escala de ruidos y efectos que producen

dB-A	ejemplo	Efecto. Daño a largo plazo
-------------	----------------	-----------------------------------

10	Respiración. Rumor de hojas	Gran tranquilidad
20	Susurro	Gran tranquilidad
30	Campo por la noche	Gran tranquilidad
40	Biblioteca	Tranquilidad
50	Conversación tranquila	Tranquilidad
60	Conversación en el aula	Algo molesto
70	Aspiradora. Televisión alta	Molesto
80	Lavadora. Fábrica	Molesto. Daño posible
90	Moto. Camión ruidoso	Muy molesto. Daños
100	Cortadora de césped	Muy molesto. Daños
110	Bocina a 1 m. Grupo de rock	Muy molesto. Daños
120	Sirena cercana	Algo de dolor
130	Cascos de música estrepitosos	Algo de dolor
140	Cubierta de portaaviones	Dolor
150	Despegue de avión a 25 m	Rotura del tímpano

Smog

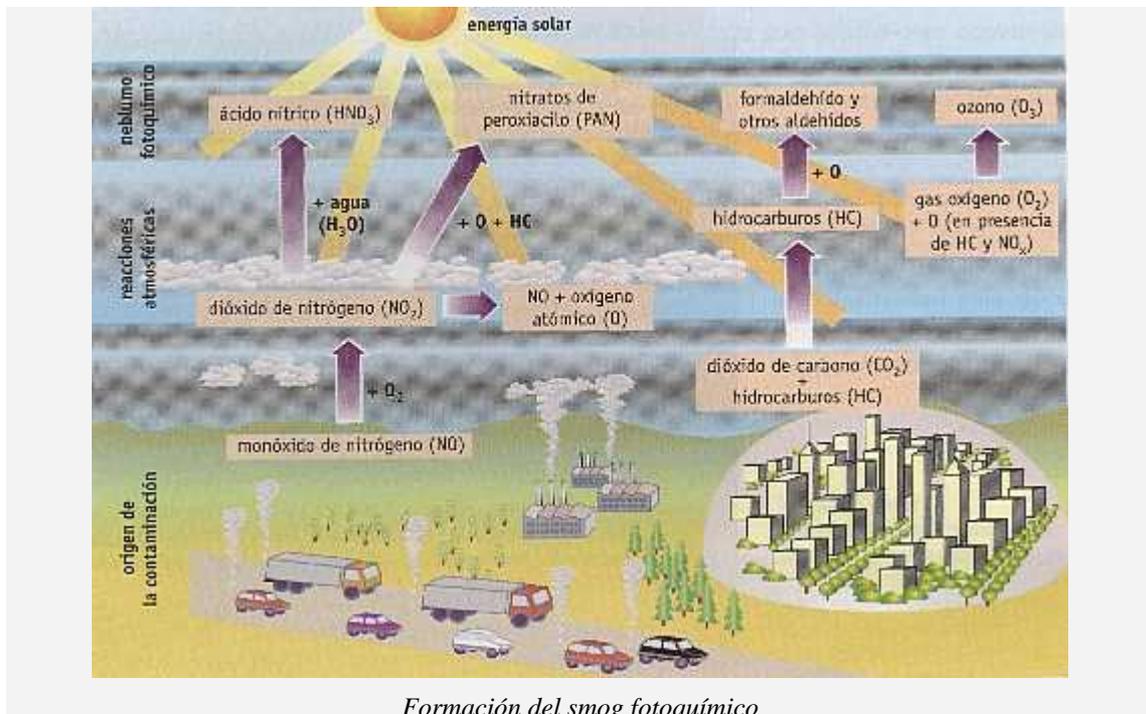
La palabra inglesa *smog* (de *smoke*: humo y *fog*: niebla) se usa para designar la contaminación atmosférica que se produce en algunas ciudades como resultado de la combinación de unas determinadas circunstancias climatológicas y unos concretos contaminantes. A veces, no muy frecuentemente, se traduce por neblumo (niebla y humo). Hay dos tipos muy diferentes de *smog*:

Smog Industrial

El llamado smog industrial o gris fue muy típico en algunas ciudades grandes, como Londres o Chicago, con mucha industria, en las que, hasta hace unos años, se quemaban grandes cantidades de carbón y petróleo pesado con mucho azufre, en instalaciones industriales y de calefacción. En estas ciudades se formaba una mezcla de dióxido de azufre, gotitas de ácido sulfúrico formada a partir del anterior y una gran variedad de partículas sólidas en suspensión, que originaba una espesa niebla cargada de contaminantes, con efectos muy nocivos para la salud de las personas y para la conservación de edificios y materiales.

En la actualidad en los países desarrollados los combustibles que originan este tipo de contaminación se queman en instalaciones con sistemas de depuración o dispersión mejores y raramente se encuentra este tipo de contaminación, pero en países en vías de industrialización como China o algunos países de Europa del Este, todavía es un grave problema en algunas ciudades.

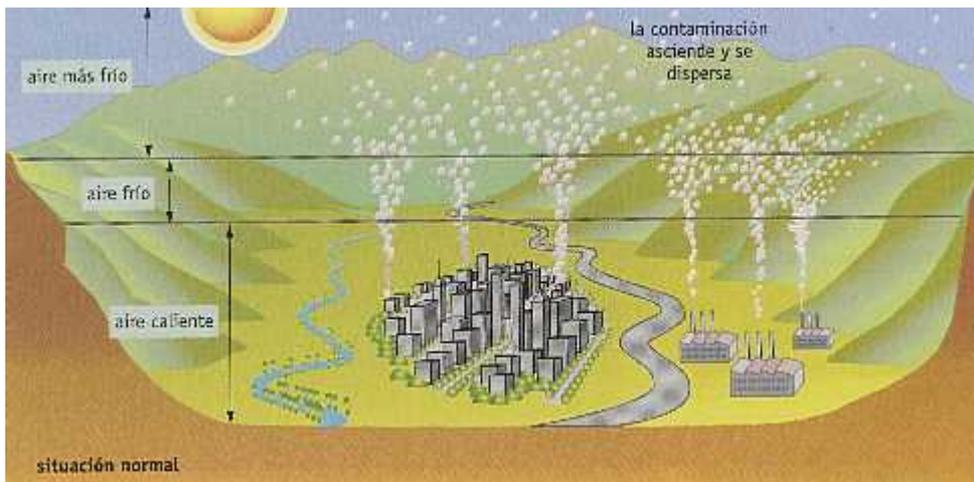
Smog fotoquímico



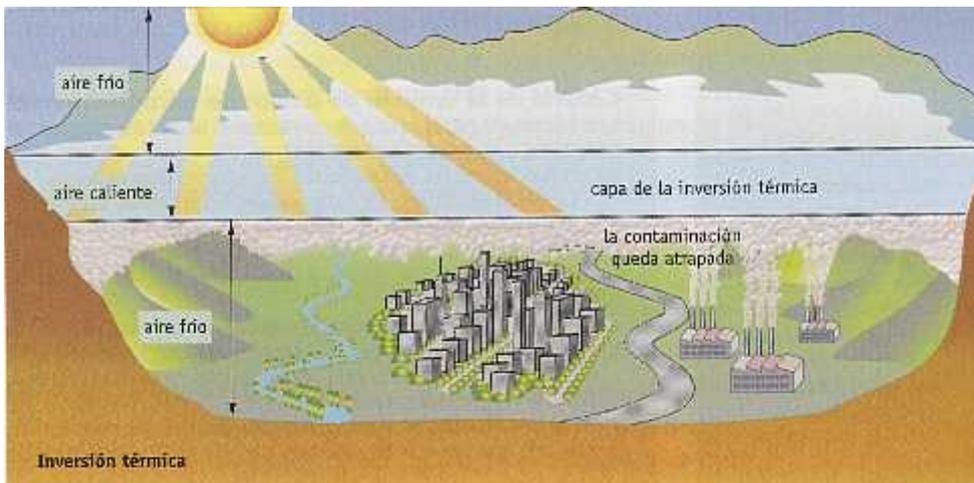
Formación del smog fotoquímico

En muchas ciudades el principal problema de contaminación es el llamado smog fotoquímico. Con este nombre nos referimos a una mezcla de contaminantes de origen primario (NO_x e hidrocarburos volátiles) con otros secundarios (ozono, peroxiacilo, radicales hidroxilo, etc.) que se forman por reacciones producidas por la luz solar al incidir sobre los primeros.

Esta mezcla oscurece la atmósfera dejando un aire teñido de color marrón rojizo cargado de componentes dañinos para los seres vivos y los materiales. Aunque prácticamente en todas las ciudades del mundo hay problemas con este tipo de contaminación, es especialmente importante en las que están en lugares con clima seco, cálido y soleado, y tienen muchos vehículos. El verano es la peor estación para este tipo de contaminación y, además, algunos fenómenos climatológicos, como las inversiones térmicas, pueden agravar este problema en determinadas épocas ya que dificultan la renovación del aire y la eliminación de los contaminantes.



En la situación habitual de la atmósfera la temperatura desciende con la altitud lo que favorece que suba el aire más caliente (menos denso) y arrastre a los contaminantes hacia arriba.



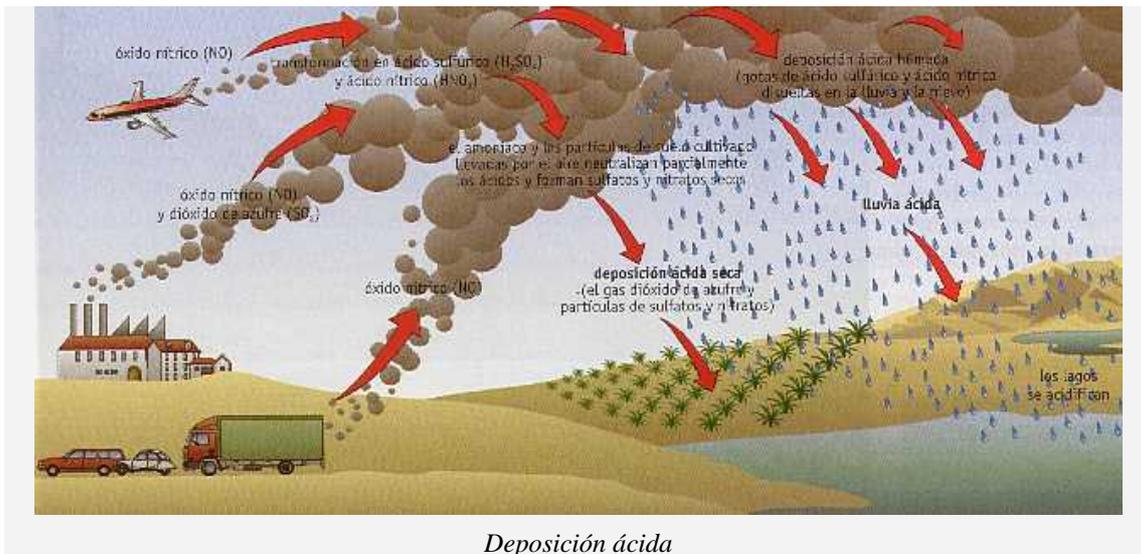
En una situación de inversión térmica una capa de aire más cálido se sitúa sobre el aire superficial más frío e impide la ascensión de este último (más denso), por lo que la contaminación queda encerrada y va aumentando.

Las reacciones **fotoquímicas** que originan este fenómeno suceden cuando la mezcla de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos volátiles emitida por los automóviles y el oxígeno atmosférico reaccionan, inducidos por la luz solar, en un complejo sistema de reacciones que acaba formando ozono. El ozono es una molécula muy reactiva que sigue reaccionando con otros contaminantes presentes en el aire y acaba formando un conjunto de varias decenas de sustancias distintas como nitratos de peroxiacilo (PAN), peróxido de hidrógeno (H_2O_2), radicales hidroxilo (OH), formaldehído, etc. Estas sustancias, en conjunto, pueden producir importantes daños en las plantas, irritación ocular, problemas respiratorios, etc.

Deposición ácida

Algunas de las moléculas que contaminan la atmósfera son ácidos o se convierten en ácidos con el agua de lluvia. El resultado es que en muchas zonas con grandes industrias se ha comprobado que la lluvia es más ácida que lo normal y que también se depositan **partículas secas ácidas** sobre la superficie, las plantas y los edificios. Esta **lluvia ácida**

ya no es el don beneficioso que revitalizaría tierras, ríos y lagos; sino que, al contrario, trae la enfermedad y la decadencia para los seres vivos y los ecosistemas.



Causas de la deposición ácida

Algunas industrias o centrales térmicas que usan combustibles de baja calidad, liberan al aire atmosférico importantes cantidades de **óxidos de azufre y nitrógeno**. Estos contaminantes pueden ser trasladados a distancias de hasta cientos de kilómetros por las corrientes atmosféricas, sobre todo cuando son emitidos a la atmósfera desde chimeneas muy altas que disminuyen la contaminación en las cercanías pero la trasladan a otros lugares.

En la atmósfera los óxidos de nitrógeno y azufre son convertidos en **ácido nítrico y sulfúrico** que vuelven a la tierra con las precipitaciones de lluvia o nieve (**lluvia ácida**). Otras veces, aunque no llueva, van cayendo partículas sólidas con moléculas de ácido adheridas (**deposición seca**).

La lluvia normal es ligeramente ácida, por llevar ácido carbónico que se forma cuando el dióxido de carbono del aire se disuelve en el agua que cae. Su pH suele estar entre 5 y 6. Pero en las zonas con la atmósfera contaminada por estas sustancias acidificantes, la lluvia tiene valores de pH de hasta 4 o 3 y, en algunas zonas en que la niebla es ácida, el pH puede llegar a ser de 2,3, es decir similar al del zumo de limón o al del vinagre.

Daños provocados por la deposición ácida

Es interesante distinguir entre:

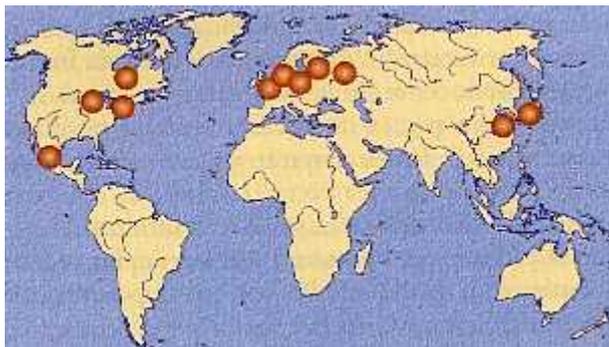
a) **Ecosistemas acuáticos.**- En ellos está muy demostrada la **influencia negativa** de la acidificación. Fue precisamente observando la situación de cientos de lagos y ríos de Suecia y Noruega, entre los años 1960 y 1970, en los que se vio que el número de peces y anfibios iba disminuyendo de forma acelerada y alarmante, cuando se dio importancia a esta forma de contaminación.

La reproducción de los animales acuáticos es alterada, hasta el punto de que muchas especies de peces y anfibios no pueden subsistir en aguas con pH inferiores a 5,5. Especialmente grave es el efecto de la lluvia ácida en lagos situados en terrenos de roca no caliza, porque cuando el terreno es calcáreo, los iones alcalinos son abundantes en el suelo y neutralizan, en gran medida, la acidificación; pero si las rocas son granitos, o rocas ácidas pobres en cationes, los lagos y ríos se ven mucho más afectados por una deposición ácida que no puede ser neutralizada por la composición del suelo.

b) **Ecosistemas terrestres.**- La influencia sobre las plantas y otros organismos terrestres no está tan clara, pero se sospecha que puede ser un factor muy importante de la

llamada "muerte de los bosques" que afecta a grandes extensiones de superficies forestales en todo el mundo. También parece muy probable que afecte al ecosistema terrestre a través de los cambios que produce en los suelos, pero se necesita seguir estudiando estos temas para conocer mejor cuales pueden ser los efectos reales.

c) **Edificios y construcciones.**- La **corrosión** de metales y construcciones es otro importante efecto dañino producido por la lluvia ácida. Muchos edificios y obras de arte situadas a la intemperie se están deteriorando decenas de veces más aprisa que lo que lo hacían antes de la industrialización y esto sucede por la contaminación atmosférica, especialmente por la deposición ácida.



Zonas del planeta con más lluvia ácida

Cambio climático y efecto invernadero

El clima es variable

A lo largo de los 4.600 millones de años de historia de la Tierra las fluctuaciones climáticas han sido muy grandes. En algunas épocas el clima ha sido cálido y en otras frío y, a veces, se ha pasado bruscamente de unas situaciones a otras. Así, por ejemplo:

Algunas épocas de la Era Mesozoica (225 - 65 millones años BP) han sido de las más cálidas de las que tenemos constancia fiable. En ellas la temperatura media de la Tierra era unos 5°C más alta que la actual.

En los relativamente recientes últimos 1,8 millones de años, ha habido varias extensas glaciaciones alternándose con épocas de clima más benigno, similar al actual. A estas épocas se les llama interglaciaciones. La diferencia de temperaturas medias de la Tierra entre una época glacial y otra como la actual es de sólo unos 5 °C o 6°C . Diferencias tan pequeñas en la temperatura media del planeta son suficientes para pasar de un clima con grandes casquetes glaciares extendidos por toda la Tierra a otra como la actual. Así se entiende que modificaciones relativamente pequeñas en la atmósfera, que cambiaran la temperatura media unos 2°C o 3°C podrían originar transformaciones importantes y rápidas en el clima y afectar de forma muy importante a la Tierra y a nuestro sistema de vida.

Efecto invernadero

Dentro de un invernadero la temperatura es más alta que en el exterior porque entra más energía de la que sale, por la misma estructura del habitáculo, sin necesidad de que empleemos calefacción para calentarlo.

En el conjunto de la Tierra se produce un efecto natural similar de retención del calor gracias a algunos gases atmosféricos. La temperatura media en la Tierra es de unos

15°C y si la atmósfera no existiera sería de unos -18°C. Se le llama efecto invernadero por similitud, porque en realidad la acción física por la que se produce es totalmente distinta a la que sucede en el invernadero de plantas.

El efecto invernadero hace que la temperatura media de la superficie de la Tierra sea 33°C mayor que la que tendría si no existieran gases con efecto invernadero en la atmósfera.

¿Por qué se produce el efecto invernadero?

El efecto invernadero se origina porque **la energía que llega del sol**, al proceder de un cuerpo de muy elevada temperatura, está formada por ondas de **frecuencias altas** que traspasan la atmósfera con gran facilidad. La **energía remitida** hacia el exterior, desde la Tierra, al proceder de un cuerpo mucho más frío, está en forma de ondas de **frecuencias mas bajas**, y es absorbida por los gases con efecto invernadero. Esta retención de la energía hace que la temperatura sea más alta, aunque hay que entender bien que, al final, en condiciones normales, es igual la cantidad de energía que llega a la Tierra que la que esta emite. Si no fuera así, la temperatura de nuestro planeta habría ido aumentando continuamente, cosa que, por fortuna, no ha sucedido.

Podríamos decir, de una forma muy simplificada, que el efecto invernadero lo que hace es provocar que le energía que llega a la Tierra sea "devuelta" más lentamente, por lo que es "mantenida" más tiempo junto a la superficie y así se mantiene la elevación de temperatura.

Gases con efecto invernadero

	Acción relativa	Contribución real
CO ₂	1 (referencia)	76%
CFCs	15 000	5%
CH ₄	25	13%
N ₂ O	230	6%

Como se indica en la columna de acción relativa, un gramo de CFC produce un efecto invernadero 15 000 veces mayor que un gramo de CO₂, pero como la cantidad de CO₂ es mucho mayor que la del resto de los gases, la contribución real al efecto invernadero es la que señala la columna de la derecha

Otros gases como el oxígeno y el nitrógeno, aunque se encuentran en proporciones mucho mayores, no son capaces de generar efecto invernadero.

Aumento de la concentración de gases con efecto invernadero

En el último siglo la concentración de anhídrido carbónico y otros gases invernadero en la atmósfera ha ido creciendo constantemente debido a la actividad humana:

- A comienzos de siglo por la **quema** de grandes masas de **vegetación** para ampliar las tierras de cultivo
- En los últimos decenios, por el uso masivo de **combustibles fósiles** como el petróleo, carbón y gas natural, para obtener energía y por los procesos industriales.

La concentración media de **dióxido de carbono** se ha incrementado desde unas 275 ppm antes de la revolución industrial, a 315 ppm cuando se empezaron a usar las primeras estaciones de medida exactas en 1958, hasta 379 ppm en 2005.

Los niveles de **metano** se han doblado en los últimos 100 años. En 1800 la concentración era de aproximadamente 715 ppb y en 1992 era de 1774 ppb en 2005. La cantidad de **óxido de dinitrógeno** se incrementa en un 0.25% anual. En la época preindustrial sus niveles serían de alrededor de 270 ppb y alcanzaron los 319 ppb en 2005.

Cambio climático

Por lógica muchos científicos piensan que a mayor concentración de gases con efecto invernadero se producirá mayor aumento en la temperatura en la Tierra. A partir de 1979 los científicos comenzaron a afirmar que un aumento al doble en la concentración del CO₂ en la atmósfera supondría un calentamiento medio de la superficie de la Tierra de entre 1,5 y 4,5 °C.

Estudios más recientes sugieren que el calentamiento se produciría más rápidamente sobre tierra firme que sobre los mares. Asimismo el calentamiento se produciría con retraso respecto al incremento en la concentración de los gases con efecto invernadero. Al principio los océanos más fríos tenderán a absorber una gran parte del calor adicional retrasando el calentamiento de la atmósfera. Sólo cuando los océanos lleguen a un nivel de equilibrio con los más altos niveles de CO₂ se producirá el calentamiento final.

Como consecuencia del retraso provocado por los océanos, los científicos no esperan que la Tierra se caliente todos los 1.5 - 4.5 °C hasta hace poco previstos, incluso aunque el nivel de CO₂ suba a más del doble y se añadan otros gases con efecto invernadero. En la actualidad el IPCC¹ predice un calentamiento de 1.0 - 3.5 °C para el año 2100.

La temperatura media de la Tierra ha crecido unos 0.7 ó 0,8 °C en los últimos 100 años. Dada la enorme complejidad de los factores que afectan al clima es muy difícil saber si este ascenso de temperatura entra dentro de la variabilidad natural (debida a factores naturales) o si es debida al aumento del efecto invernadero provocado por la actividad humana, pero las conclusiones de los últimos estudios van dejando cada vez más claro que la influencia humana en el cambio climático es casi segura. En los informes publicados por el IPCC en 2007 se indica que el calentamiento global del clima parece claro según se observa en los incrementos de temperatura del aire y de las aguas de los océanos, en la extendida fusión de nieves y hielos y en el aumento del nivel del mar. Once de los doce últimos años (entre 1995 y 2006) son los más calurosos entre los que se tienen registros desde 1750. La tendencia de calentamiento en los últimos 50 años es de unos 0,13°C cada década. La temperatura se ha incrementado en el último siglo en unos 0,76 °C.

Según el lenguaje de estos estudios, la influencia humana en fenómenos como el aumento de la temperatura media de los días y las noches hay que considerarla como muy probable. También probables, en grados no tan rotundos son la influencia humana en olas de calor, sequías e inundaciones; mayor fuerza y frecuencia de los huracanes y las tormentas y del aumento del nivel del mar (excluyendo a los tsunamis, en los que no hay influencia de la actividad humana)

Estas informaciones nos indican que un clima tan cálido como el que ahora tenemos no se ha conocido en los últimos 1300 años y que nos deberíamos remontar a hace unos 125.000 años para encontrar un periodo significativamente largo de tiempo en el que el las regiones polares habrían sido más cálidas que en la actualidad. En esos años la fusión de hielo de esas zonas polares llevó a un nivel del mar entre 4 y 6 metros más alto que el actual.

Para analizar la relación entre las diversas variables y los cambios climáticos se usan modelos computacionales de una enorme complejidad. Hay diversos modelos de este tipo y, aunque hay algunas diferencias entre ellos, es significativo ver que todos ellos

predicen relación directa entre incremento en la temperatura media del planeta y aumento de las concentraciones de gases con efecto invernadero.

Consecuencias del cambio climático

Incluso si estabilizáramos las emisiones en el nivel actual, la Tierra seguiría calentándose unos 0,1 °C ó 0,2 °C por década en las próximas décadas porque en el funcionamiento del clima existe una gran inercia.

En los planteamientos más optimistas el aumento de temperatura a finales del siglo XXI sería de algo menos de 1 °C y el del nivel del mar sería muy pequeño. En los más pesimistas llegaríamos a aumentos de más de 4°C en la temperatura y de hasta 60 cm en el nivel del mar.

Un escenario que se considera realista, aunque no fácil, si ponemos el esfuerzo adecuado para controlar las emisiones de gases con efecto invernadero, promoviendo un desarrollo humano en el que se pusiera el énfasis en la mejora de la sociedad de la información y en el uso de tecnologías más eficientes, en un crecimiento económico moderado y sostenible. Bajo estas condiciones de vida se calcula que las temperaturas podrían aumentar para finales de siglo en unos 2°C (un umbral que no deberíamos superar sin poner en grave peligro el futuro) y los niveles del mar subirían unos 20 a 40 cm.

Hacer previsiones sobre las consecuencias en las distintas regiones no es fácil, pero es previsible que los desiertos se hagan más cálidos pero no más húmedos, lo que tendría graves consecuencias en el Oriente Medio y en Africa donde el agua es escasa.

En el Informe del IPCC² se pueden ver detalles de previsiones hechas por este organismo.

Tierras agrícolas se convertirían en desiertos y, en general, se producirían grandes cambios en los ecosistemas terrestres. Estos cambios podrían suponer una gran convulsión en nuestra sociedad, que en un tiempo relativamente breve tendría que hacer frente a obras de contención del mar, emigraciones de millones de personas, cambios en los cultivos, etc.

Disminución del ozono estratosférico

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

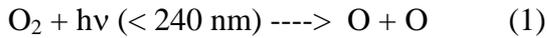
Cuando está presente en las zonas de la atmósfera más cercanas a la superficie es un contaminante que suele formar parte del smog fotoquímico.

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

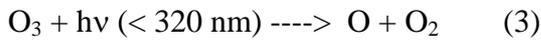
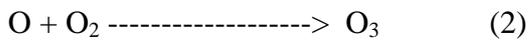
Ozono estratosférico: filtro de las radiaciones ultravioleta

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

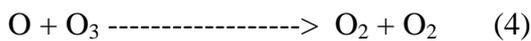
El ozono está continuamente formándose y destruyéndose en la estratosfera, en una serie de reacciones, llamadas reacciones de Chapman, que se pueden simplificar así:



Formación del ozono



Destrucción del ozono



El incremento de átomos de cloro en esta zona de la atmósfera está originado, principalmente, por los CFC (clorofluorocarburos). Son productos muy poco reactivos, lo que hizo que fueran la solución óptima para la fabricación de frigoríficos, goma espuma, extintores, aerosoles, y como fumigantes en la agricultura (bromuro de metilo), etc. Sus cualidades son tan óptimas para estos usos que en las últimas décadas los hemos fabricado y usado en cantidades crecientes que, poco a poco, han ido acumulándose en la atmósfera. Pero su principal ventaja -la estabilidad- ha sido también el origen de sus dañinos efectos. Ascenden, sin ser destruidos, hasta la estratosfera y una vez allí, las radiaciones ultravioletas rompen las moléculas de CFC liberando los átomos de cloro responsables de la destrucción del ozono. El cloro atómico actúa como catalizador, por lo que un solo átomo puede atacar cientos de miles de moléculas de ozono.

Niveles del ozono estratosférico y unidades de medida

Aunque en total hay unas tres mil millones de toneladas de ozono en la estratosfera, esta cantidad, dado el volumen, hace que sea un gas traza - en concentraciones muy bajas-, incluso en las zonas en las que es más abundante.

Unidades Dobson.- El nivel de ozono en la atmósfera se suele medir en Unidades Dobson (DU). Si 100 DU de ozono fueran traídas a las condiciones de presión y temperatura de la superficie de la Tierra formarían una capa de 1 mm de espesor.

En las zonas tropicales los niveles de ozono típicos se mantienen entre 250 y 300 DU a lo largo del año. En las regiones templadas se suelen dar grandes variaciones de nivel en las distintas estaciones, con oscilaciones que van desde niveles de 475 DU a menos de 300 DU. En la zona de la Antártida, durante la formación del "agujero" de ozono, en la primavera, se han llegado a medir valores tan bajos como de poco más de 100 DU.

importantes cantidades de aerosoles introducen además de ciertas cantidades de cloro. En la primavera siguiente a la explosión del Pinatubo en 1991 el agujero de ozono de la Antártida fue un 20% superior a lo normal lo que sugiere, aunque no prueba, que los dos acontecimientos podrían estar relacionados. La influencia de las grandes erupciones volcánicas sobre el total del ozono atmosférico es más modesta (no llega al 3%) y dura sólo unos 2 ó 3 años. Los aerosoles no actúan directamente destruyendo el ozono, sino que aumentan la capacidad destructiva de los átomos de Cloro. Por eso, en ausencia de sustancias destructoras del ozono de origen humano, su acción sería mucho menor.

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

La Antártida un lugar especialmente sensible: "Agujero" de ozono de la Antártida

Aunque la disminución de la concentración de ozono está demostrada en toda la atmósfera, es especialmente acusada en la Antártida. Sobre este continente se produce todos los años, en los meses de septiembre a noviembre, coincidiendo con la primavera antártica, el llamado vórtice circumpolar, que aísla el aire frío situado sobre la Antártida del más cálido del resto del mundo. Debido al frío se forman cristales de hielo, con cloro y otras moléculas adheridas, que tienen gran capacidad de destruir ozono. Así se forma lo que se suele denominar el "agujero" de ozono. Cuando el vórtice circumpolar se debilita, el aire con muy poco ozono de la Antártida se mezcla con el aire de las zonas vecinas. Esto provoca una importante disminución en la concentración de ozono en toda la zona de alrededor, y parte de América del Sur, Nueva Zelanda y Australia quedan bajo una atmósfera más pobre en ozono que lo normal.

La sociedad reacciona: Soluciones

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

En la actualidad se puede considerar que el problema está en vías de solución. Si las previsiones hechas en los últimos años se cumplen, la concentración de cloro en la estratosfera alcanzará su máximo a finales de este siglo y a partir de entonces empezará a disminuir hasta volver a su nivel natural a finales del próximo siglo. De todas formas, dada la gravedad del problema, la evolución de estos gases es seguida con atención para comprobar que todo va sucediendo conforme se prevé, o tomar nuevas medida en caso de que no sea así.

¹ Climate Change 2007: The Physical Science Basis Summary for Policymakers Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>

² Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability Summary for Policymakers <http://www.ipcc.ch/SPM6avr07.pdf>