

Históricamente se relaciona la contaminación con la polución atmosférica procedente de la industria y del transporte, sin embargo también se produce contaminación en viviendas, por ejemplo: monóxido de carbono generado en las combustiones incompletas cuando se utiliza gas ciudad, en grandes edificios en el empleo de calefacciones y aires acondicionados, etc...

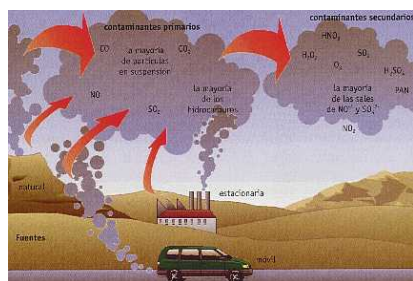
En general se puede definir un contaminante del aire como aquel componente presente en la atmósfera, a niveles perjudiciales para la vida del hombre, plantas o animales.

En consecuencia la contaminación tanto en exceso como en defecto, es un parámetro crucial para identificar las sustancias nocivas para los seres vivos.

Un caso que ejemplifica lo que se acaba de señalar, es la contaminación causada por el ozono. Este gas absorbe en la parte alta de la atmósfera las radiaciones solares más energéticas, evitando que causen efectos negativos sobre los seres vivos. En este sentido el ozono estratosférico a de estar en concentraciones suficientes adecuadas.. Sin embargo en la parte baja de la atmósfera, se genera ozono en exceso que resulta nocivo para los seres vivos, al ser un oxidante muy energético.

Paradójicamente el ozono esta disminuyendo en la estratosfera donde resulta beneficioso y aumentando en la troposfera donde resulta perjudicial.

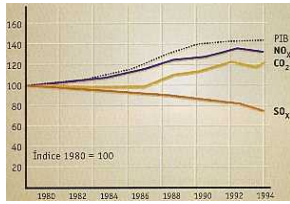
Los contaminantes atmosféricos son tan numerosos que resulta difícil agruparlos para su estudio. Siguiendo una agrupación bastante frecuente los incluiremos en los siguientes grupos:



### Contaminación primaria y secundaria

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

Componentes	Aire limpio	Aire contaminado
SO <sub>2</sub>	0.001–0.01 ppm	0.02–2 ppm
CO <sub>2</sub>	310–330 ppm	350–700 ppm
CO	<1 ppm	5–200 ppm
NO <sub>x</sub>	0.001–0.01 ppm	0.01–0.5 ppm
Hidrocarburos	1 ppm	1–20 ppm
Partículas	10–20 ð g/m <sup>3</sup>	70–700 ð g/m <sup>3</sup>



Comparación de la tendencia en las emisiones de varios contaminantes en España, en comparación con el producto interior bruto (PIB)

## Óxidos de carbono

El carbono es uno de los elementos más abundante. En la biosfera constituye el 24.9% de los átomos presentes; en la litosfera el 0.16%; en la hidrosfera el 0.0014% y en la atmósfera el 0.03%. En la materia viva el carbono se encuentra mayoritariamente en forma de hidratos de carbono, pues la celulosa es la materia orgánica más abundante en el mundo vegetal autótrofo, y esta es la base nutritiva de los restantes niveles. En la litosfera se encuentra sobre todo en la forma de carbonatos minerales y excepcionalmente en la forma de carbono elemental en el carbón mineral.

La presencia en la atmósfera se manifiesta sobre todo en forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en un fracción correspondiente a 315ppm, así como monóxido de carbono (CO) en aire, para q este fuera considerado como no contaminante su proporción debería ser < 1ppm de CO.

### *Dióxido de carbono*

#### **Características:**

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

#### **Acción contaminante:**

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

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

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

#### **Emisiones 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 un 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 (CH<sub>4</sub>) en reacciones fotoquímicas. Se va eliminando por su oxidación a CO<sub>2</sub>.

La actividad humana lo genera en grandes cantidades siendo, después del CO<sub>2</sub>, 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**

#### ***El Azufre en la naturaleza***

Se estima que el universo está formado por el 0.001% de átomos de azufre; El agua de los mares de la tierra contiene el 0.017% y la composición del cuerpo humano es del 0.05%. Esa es una manera de destacar la importancia de este elemento en la naturaleza como componente de la materia en la que forma parte de proteína y otros compuestos.

En la corteza terrestre el azufre está presente en los minerales más abundantes:

Piritas (como sulfuros), Yesos (sulfatos), etc. La concentración media en la litosfera es del orden de 520gr por tonelada.

#### ***Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)***

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. Casi la mitad vuelve a depositarse en la superficie húmeda o seca y el resto se convierte en iones sulfato

(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). 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 H<sub>2</sub>S. 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 (SO<sub>3</sub>)***

Contaminante secundario que se forma cuando el SO<sub>2</sub> 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.

### ***Otros***

Algunos otros gases como el **sulfuro de dihidrógeno** (H<sub>2</sub>S) 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 (NO<sub>2</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).

Parámetro de contaminación

El nitrógeno se encuentra en la atmósfera como componente mayoritario y es allí donde aparece en mayor abundancia en la naturaleza precisamente en la forma elemental, sin combinar.

No está bien estimado el total de nitrógeno combinado que existe. La forma molecular N<sub>2</sub> tiene carácter de inerte en condiciones de bajas temperaturas debido a que la molécula está formada por dos átomos unidos por un enlace triple, (un enlace tipo  $\sigma$  y dos enlaces tipo  $\pi$ ) a una distancia de 0.75 Å y que requiere una energía de 225 kcal/mol para su disociación. Esta fuerte unión entre los átomos es la causa de que muchos de los compuestos muy ricos en nitrógeno sean explosivos, posean tendencia a la descomposición, liberando N<sub>2</sub> gaseoso y gran cantidad de calor.

### ***NO<sub>x</sub> (conjunto de NO y NO<sub>2</sub>)***

El óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) se suelen considerar en conjunto con la denominación de NO<sub>x</sub>. Son contaminantes primarios de mucha trascendencia en los problemas de contaminación.

El emitido en más cantidad es el NO, pero sufre una rápida oxidación a NO<sub>2</sub>, siendo este el que predomina en la atmósfera. NO<sub>x</sub> tiene una vida corta y se oxida rápidamente a NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en forma de aerosol o a HNO<sub>3</sub> (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 (N<sub>2</sub>O)***

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 ( $\text{NH}_3$ ) son contaminantes primarios, pero normalmente sus bajos niveles de emisión hacen que no alcancen concentraciones dañinas. El amoníaco que se emite a la atmósfera en España se origina casi exclusivamente en el sector agrícola y ganadero.

### **Compuestos orgánicos volátiles**

Este grupo incluye diferentes compuestos como el metano  $\text{CH}_4$ , otros hidrocarburos, los clorofluorocarburos (CFC) y otros.

#### ***Metano ( $\text{CH}_4$ )***

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%).

#### ***Clorofluorocarburos***

(Moléculas orgánicas formadas por átomos de Cl y F unidos a C. Por ejemplo  $\text{CCL}_3\text{F}$  (Freón-11) o  $\text{CCL}_2\text{F}_2$ )

(Freón-12). Se han utilizado mucho en los "sprays", frigoríficos, etc. Son los principales responsables de la destrucción de la capa de ozono. )

Son especialmente importantes por su papel en la destrucción del ozono en las capas altas de la atmósfera.

### ***PRODUCCION DE CFC EN EL MUNDO.***

La comunidad europea ocupa el primer puesto, 39,9 % en la lista de los mayores productores de CFC, los gases responsables del desastre de la capa de ozono, según un informe presentado por la organización ambientalista GREENPEACE.

El segundo lugar lo ocupa los Estados Unidos con el 37,7% seguido de Japón, que solo

tiene el 12,3 % del mercado mundial de CFC, Europa del este con el 7,2 %, China y los países en desarrollo con el 2,9 %.

A pesar de los llamados de alerta lanzados por los ambientalistas, según GREENPEACE se ha hecho muy poco por proteger la capa de ozono, ya que la producción mundial de CFC en los últimos sesenta años, en vez de disminuir se ha multiplicado.

De las 100 mil toneladas producidas en 1930 se pasó a un millón en el 60, a 10 millones en el 80, y a los 16 millones en 1990. Se prevé que para el 2.005 se producirá unos 30 millones de toneladas.

GREENPEACE señala que aproximadamente cuarenta industrias repartidas en 25

países del mundo, producen el CFC y otras sustancias que destruyen la capa de ozono. Los más importantes, sin embargo, solo cinco:

La " Dupont", de los Estados Unidos, la "ICI" de Inglaterra, "Hoeschst" de Alemania, la "Atochem" de Francia y la italiana "Montefluos".

Según GREENPEACE, sólo la Montefluos produjo en 1991 32 mil toneladas de

CFC y 22 mil hidrofluorcarburos (HCFC).

Sin embargo, GREENPEACE señala que, a pesar de todas estas amenazas, la fecha límite que los países de todo el mundo han establecido para eliminar las sustancias químicas anti-ozono está muy lejana e insuficiente para reducir los daños a la atmósfera.

Sustancias como el halos, CFC y tetracloruro de carbono no deberían ser producidos a partir del 2.000 y el metilcloroformo en el 2.005, pero según GREENPEACE, antes de estas fechas se expulsarán en el aire 8 millones de

toneladas de CFC.

Si no se interviene pronto para bloquear la producción de estas sustancias químicas, las consecuencias podrían ser graves sobre todo para la salud humana.

### **Partículas y aerosoles**

- Aerosoles primarios
- Aerosoles secundarios
- Impacto sobre el clima

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

*Asbesto:* Mineral formado por fibras de silicato de origen natural. Se usa como aislante pero es muy peligroso porque causa importantes daños a los pulmones, produciendo enfermedades como cáncer de pulmón o asbestosis (acumulación de zonas cicatrizadas en el tejido pulmonar)

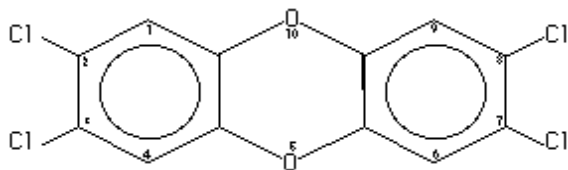
*Dioxina:* Las dioxinas se han hecho muy conocidas en los últimos años porque preocupa su presencia en el ambiente ya que se encuentran en muchos lugares, aunque en bajas concentraciones, y algunas de ellas son extremadamente tóxicas. Junto con las dioxinas se suelen encontrar furanos que son unos compuestos químicos similares.

Las dioxinas y los furanos no se sintetizan deliberadamente, excepto en pequeñas cantidades para trabajos de investigación. Se producen sin querer, principalmente de dos maneras:

en el proceso de fabricación de algunos pesticidas, conservantes, desinfectantes o componentes del papel;

cuando se queman a bajas temperaturas materiales como algunos productos químicos, gasolina con plomo, plástico, papel o madera.

Hay varios cientos de dioxinas y furanos pero en su mayoría sólo son ligeramente o nada tóxicos. Pero una docena de ellos están entre las sustancias más tóxicas que se conocen. Una simple dosis de 6 millonésimas de gramo de la dioxina más letal que es la 2,3,7,8-TCDD, mata a una rata. Todavía no se sabe bien como afectan a los humanos estas sustancias. Se ha podido observar la acción de estos compuestos cuando alguna persona ha quedado expuesta por accidente a ellas, pero en estos casos sólo se puede conocer la dosis que han recibido muy aproximadamente. Por esto es arriesgado pronunciarse sobre los efectos que producen las distintas dosis, especialmente cuando hablamos de contacto con estas sustancias durante periodos de tiempo largos.



*2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina, también llamada 2,3,7,8-TCDD*

Cuando algunas personas, por accidente, han estado expuestas a altas concentraciones de 2,3,7,8-TCDD han tenido diversos problemas de salud, pero casi todos ellos desaparecen pronto, excepto un fuerte acné (llamado cloroacné) que ha veces les ha durado décadas. Ningún estudio ha encontrado que las personas expuestas a estas sustancias, incluso aunque hayan recibido dosis muy altas, tengan índices de mortalidad más altos que lo normal.

A bastantes investigadores les preocupan más los efectos que a largo plazo pueden darse en personas expuestas a dosis muy bajas, que no provocan efectos apreciables a corto plazo. El problema con este tipo de sustancias es que no se eliminan con facilidad (tardan cinco años en reducirse a la mitad) ni se degradan y, por tanto, van acumulándose en los tejidos. En experimentos de laboratorio con animales se ha comprobado que dosis no letales pueden producir cáncer, defectos de nacimiento, reducción en la fertilidad y cambios en el sistema inmunitario.

La mayoría de los estudios que se han hecho con personas expuestas a estos productos no han encontrado que tengan más probabilidad de tener cáncer que los demás. Un estudio hecho por investigadores suecos encontró proporciones anormalmente altas de un extraño tipo de cáncer entre personas que trabajaban con herbicidas que contenían muy pequeñas cantidades de 2,3,7,8-TCDD. Pero estudios similares en otros países no han confirmado este resultado. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos considera el estudio de los investigadores suecos como una evidencia importante pero no adecuada de que estos productos producen cáncer en humanos. De todas formas recomienda que se tenga a esa sustancia como probablemente cancerígenos ya que producen cáncer en animales en los experimentos de laboratorio.

Las dioxinas y los furanos también reducen el éxito reproductivo en los animales de laboratorio al provocar nacimientos de bajo peso, camadas más pequeñas y abortos prematuros. Los problemas sólo suceden cuando es la madre la expuesta al 2,3,7,8-TCDD, nunca cuando es el macho, lo que demuestra que no se produce alteración del AND, sino alteraciones en el proceso de formación del embrión.

Se han hecho muchos estudios sobre defectos de nacimiento entre mujeres expuestas al 2,3,7,8-TCDD. Algunos han encontrado un número de nacimientos defectuosos mayor que el normal, pero en la mayoría de las investigaciones no se han encontrado evidencias de defectos de nacimiento o problemas reproductivos por este motivo.

Por lo que sabemos hasta ahora, con estudios minuciosos y detallados, las personas que han recibido dosis anormalmente altas de estas sustancias mantienen una salud normal. Todo indica que el hombre soporta estas sustancias mucho mejor que la mayoría de los animales de laboratorio. También es claro que trazas (concentraciones muy bajas, casi inapreciables) de estas sustancias se han encontrado en tejidos y en la leche materna de personas de muchos países; pero no podemos afirmar nada con seguridad sobre los efectos a largo plazo que esta contaminación puede suponer.

## **Oxidantes**

### **Ozono (O<sub>3</sub>)**

#### ***Ozono estratosférico***

#### ***Ozono troposférico***

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

### **Ozono (O<sub>3</sub>)**

El ozono, O<sub>3</sub>, es una molécula formada por átomos de oxígeno. Se diferencia del oxígeno molecular normal en que este último es O<sub>2</sub>.

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***

La única reacción química significativa produciendo ozono en la atmósfera es la que transcurre entre el oxígeno atómico y el molecular. A esas altitudes (por encima de 20 Km.) los átomos de oxígeno provienen de la fotodisociación del oxígeno molecular por acción de radiaciones en el ultravioleta lejano. Cada cuanto luminoso absorbido disocia una molécula.



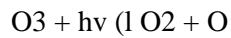
El oxígeno atómico se combina luego con el molecular produciendo ozono.



Reacción térmica que no requiere la absorción de un fotón, donde M es un tercer cuerpo, como N<sub>2</sub> u O<sub>2</sub> que remueve la energía de reacción y estabiliza la molécula de O<sub>3</sub>.

Pero el O<sub>3</sub> formado puede destruirse fotoquímicamente, ya que absorbe primariamente en la región media del

ultravioleta produciéndose una inversión de la reacción anterior.



De este modo se establece un estado de concentración constante; las reacciones de producción y destrucción fotoquímicas conducen a un equilibrio fotoquímico que conserva una pequeña concentración de O<sub>3</sub> a partir del oxígeno irradiado.

El oxígeno atmosférico actúa así como un absorbedor selectivo de las radiaciones ultravioletas más perjudiciales, las que corresponden a las regiones espectrales de longitudes de onda corta UV-C (200– 280 nm) y media UV-B (280 – 320nm).

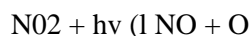
Ya que la radiación ultravioleta responsable de los procesos de fotodisociación referidos es absorbida por el oxígeno y por el O en la estratosfera, la mayor concentración de O<sub>3</sub> es encontrada entre 15 y 40 Km. por encima de la superficie de la Tierra con un pico alrededor de los 25 Km.

El resultado neto de todos estos procesos es la absorción y la conversión en calor de una cantidad considerable de radiación solar UV que de otra manera incidiría sobre la superficie terrestre. Justamente de este hecho deriva la importancia geofísica y biológica de la llamada capa de ozono.

En la troposfera, capa inferior de la atmósfera que suele situarse entre 12 y 15 Km. de altura sobre el suelo, el O<sub>3</sub> no tiene el papel de escudo protector que tiene en la estratosfera porque su concentración es alrededor de diez veces menor y porque ya la radiación UV ha sido atenuada. Prácticamente hasta los años 70 las investigaciones estaban basadas en el O<sub>3</sub> estratosférico. Posteriormente el O<sub>3</sub> troposférico despertó gran interés por su participación en el balance térmico de la atmósfera, por su rol en la química troposférica cercana a la superficie terrestre y por su impacto sobre el hombre y los ecosistemas cuando su concentración excede ciertos niveles.

### ***Ozono troposférico***

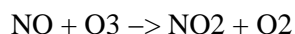
A menores alturas, en la troposfera donde solo están presentes radiaciones del mayor a 280 nm, la única producción significativa de oxígeno atómico proviene de la fotólisis del NO<sub>2</sub>. Su fotodisociación por la radiación solar en el ultravioleta cercano es así un proceso clave.



El oxígeno atómico resultante reacciona con el molecular formando ozono:



En ausencia de otras reacciones competitivas la rápida reacción del NO con O<sub>3</sub> completa el ciclo regenerando una molécula de NO<sub>2</sub>:



Las tres reacciones ocurren rápidamente, estableciéndose una concentración de O<sub>3</sub> dada por la relación de un estado fotoestacionario:

$$[NO_2]$$

$$[O_3] = K \text{ -----}$$

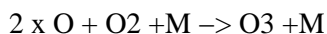
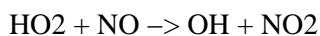
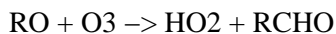
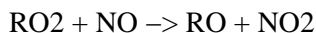
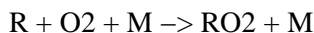
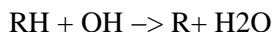
[NO]

De modo que la concentración de O<sub>3</sub> dependerá de la relación [NO<sub>2</sub>] / [NO] y del valor de  $K = k_r - 4/k_r - 6$ , la cual a su vez depende de la intensidad de la luz solar.

En ausencia de otros agentes oxidantes el O<sub>3</sub> oxidará al NO para regenerar al NO<sub>2</sub> sin resultar una ganancia neta de O<sub>3</sub>. Sólo puede existir una acumulación de O<sub>3</sub> si existe un paso alternativo que evite su consumo. Esa alternativa es ofrecida por la presencia de contaminantes atmosféricos que participan en reacciones químicas, inducidas por la luz solar, dando lugar a la formación de O<sub>3</sub> y otros oxidantes fotoquímicos como contaminantes secundarios.

Los contaminantes primarios involucrados en esta formación de O<sub>3</sub> fotoquímico son denominados precursores y están representados por compuestos orgánicos reactivos, especialmente hidrocarburos (RH) y óxidos de nitrógeno (NOX) provenientes principalmente de emisiones del escape de automotores y fuentes estacionarias.

Las reacciones básicas que conducen a la formación fotoquímica del O<sub>3</sub> han sido identificadas y suelen expresarse integrando el siguiente mecanismo.



Se supone que el compuesto orgánico sea un hidrocarburo RH (R puede ser CH<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, etc.). El mecanismo se inicia por acción del radical OH. Este radical libre, especie conteniendo un electrón desapareado, es muy reactivo. La captura de un átomo de hidrógeno rompe el enlace covalente en RH, creando otro radical libre R, que en presencia de oxígeno forma radicales oxigenados. El peroxo radical oxida al NO formándose el radical RO que en presencia de oxígeno produce un aldehído RCHO y un nuevo radical, hidroperoxilo HO<sub>2</sub>, que oxida otra molécula de NO.

El resultado neto es la formación de dos moléculas de O<sub>3</sub> y un aldehído RCHO, cuya degradación posterior puede producir nuevas moléculas de O<sub>3</sub>. El número de moléculas de O<sub>3</sub> producidas por oxidación de un hidrocarburo dependerá de su estructura y de la composición atmosférica: para las especies encontradas en el aire ambiente conteniendo 2 – 6 átomos de carbono cada molécula puede generar de 4 a 14 moléculas de O<sub>3</sub>.

Es importante notar que NOX desempeña el papel de un catalizador en la secuencia de reacciones indicada, mientras que los compuestos orgánicos son consumidos, siendo eventualmente oxidados a CO<sub>2</sub>.

### ***EFFECTOS DEL OZONO***

La concentración de ozono cerca de la superficie es muy importante por sus efectos adversos en el género humano, en la vegetación y en materiales no biológicos:

a) *Efectos sobre la salud humana.*

La exposición al ozono causa irritación de las mucosas, enfermedades respiratorias y reducción de la resistencia a las infecciones. Se indica que los primeros efectos sobre el hombre aparecen cuando su concentración alcanza a alrededor de 0.100 ppm.

Para proteger la salud pública de la contaminación del ozono se han establecido estándares que especifican distintos límites, desde 0.060 ppm para 1 hora de exposición a 0.120 ppm a no ser excedido más de un día por año.

b) *Efectos sobre la vegetación.*

Las plantas son más sensibles aún y pueden observarse daños en algunas especies a concentraciones de 0.040 ppm.

El daño en la vegetación se manifiesta por un deterioro visible en las hojas y reducción en el crecimiento, floración y cosechas. Se admite que el elevado nivel de ozono en algunas áreas rurales es el responsable de pérdidas cuantiosas en cosechas y del daño observado en florestas de Europa y Estados Unidos. La acción sobre la salud humana y la vegetación continúa siendo objeto de una intensa investigación.

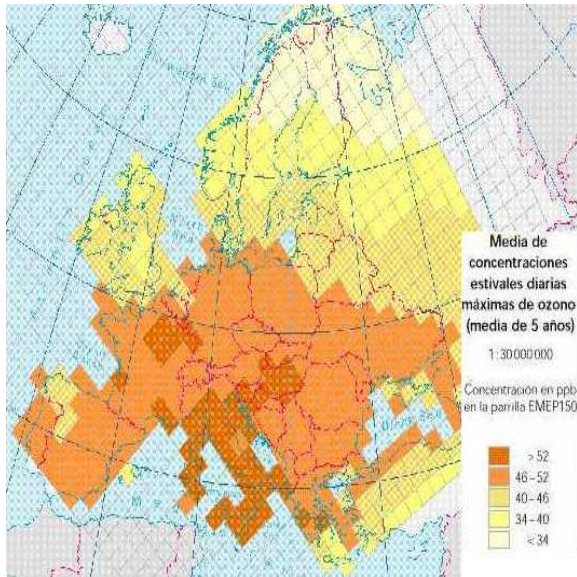
c) *Daños sobre materiales no biológicos.*

Es de gran importancia práctica y económica la acción del ozono sobre materiales susceptibles a deterioro por oxidación. Ellos incluyen elastómeros (caucho natural y ciertos polímeros sintéticos), fibras textiles, colorantes y en menor extensión pinturas.

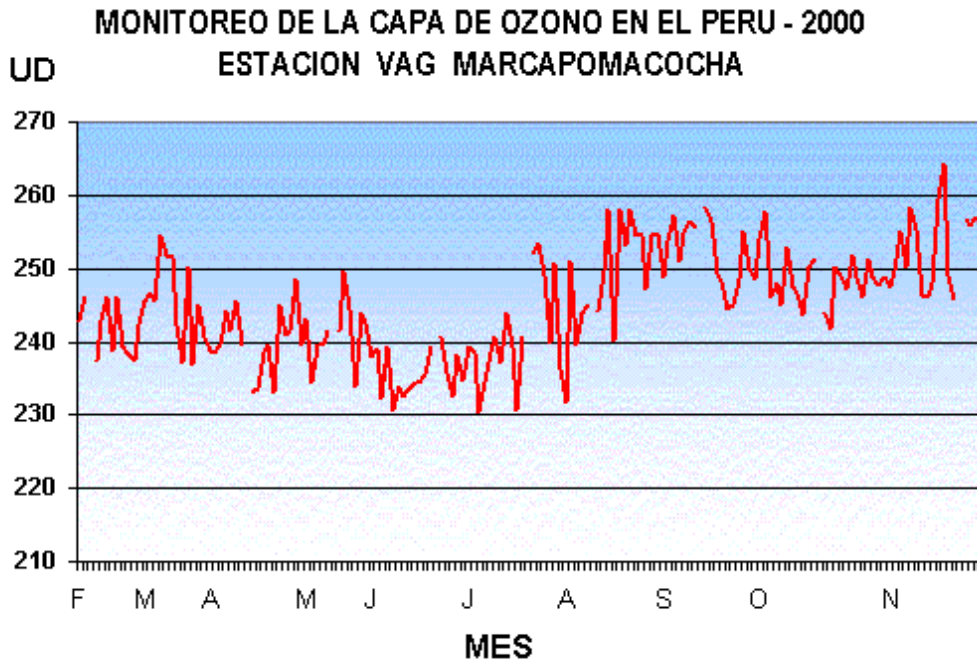
Estos efectos han sido muy estudiados y se ha usado diversos antioxidantes u otros medios de protección para reducir la velocidad del ataque. Medidas protectivas que significan un costo adicional de estos productos.

Además de estos efectos ambientales que dependen de su concentración en la superficie terrestre, el ozono también actúa como un gas invernadero, o sea que absorbe radiación infrarroja emitida por la Tierra. Duplicando la concentración de ozono troposférico la temperatura podría incrementar alrededor de 1°C. Este efecto radiante depende de la masa total de ozono en toda la troposfera.

En Estados Unidos el mecanismo establecido en la Ley del Aire Limpio (Clean Air Act) del año 1970, para asegurar la calidad del aire, falló notablemente en controlar el ozono en gran parte del país. Después de dos décadas de aplicación, y a pesar de los severos controles impuestos a las emisiones de fuentes estacionarias y móviles, un centenar de áreas urbanas que incluyen alrededor de la mitad de la población habían excedido el límite de 0.120 ppm.



*Máximas concentraciones de ozono durante las horas del día en verano*



***CONSECUENCIAS DE LA DISMINUCION DE LA CAPA DE OZONO***

La salud humana, se vería seriamente afectada por una serie de enfermedades

que pueden aumentar tanto en frecuencia como en severidad tales como: Sarampión, herpes, malaria, lepra, varicela y cáncer de piel, todas de origen cutáneo.

La exposición a la radiación ultravioleta ocasiona trastornos oculares y muy especialmente cataratas causantes de ceguera.

Menos alimentos: las radiaciones ultravioleta afectan la capacidad de las plantas de absorber la luz del sol en el proceso de fotosíntesis. También puede verse reducido el contenido nutritivo y el crecimiento de las plantas.

El clima: Va a variar por las emisiones de CFC, las cuales pueden contribuir al calentamiento global. La atmósfera actúa como un invernadero para la tierra al dejar pasar la luz, pero retiene el calor. El aumento de la cantidad de ciertos gases aumenta la capacidad de la tierra para bloquear el calor, lo cual causa temperaturas más elevadas y cambios climáticos.

Los materiales de construcción usados en edificios, pinturas, envases y en muchos otros lugares, son degradados por la acción de las radiaciones ultravioleta. El nivel del mar aumentaría como consecuencia de la expansión de sus aguas, cuando se recalienten y derritan los glaciares. Sostienen los científicos que para el año 2050 el aumento del mar será de 0,3 a 1,2 metros, produciéndose inundaciones costeras y erosiones. También

pronostican contaminaciones de suministros hídricos por la ausencia de agua salada y se verá afectadas la economía de las zonas costeras. Entre otros fenómenos extremos se producirán huracanes, ciclones, olas de frío intensos y tifones.

La disminución de la capa de ozono parece hacerse cada día más evidente y dramática. Además del agujero existente sobre el Ártico cerca del polo sur, recientemente se descubrió un nuevo hueco, sobre Australia y Nueva Zelanda. Según científicos australianos la disminución de la capa de ozono puede ser motivada por periodo de incidencia en la atmósfera durante el invierno.

Si desaparece la capa de ozono desaparece también la protección de los rayos ultravioleta, principales causantes del cáncer de piel y de modificaciones genéticas en la flora y la fauna.

La nave espacial "GALILEO" en su ruta hacia Júpiter, estudió la capa de ozono, determinando que el principal agujero es más grande de lo que se pensaba y está rodeado de una capa fina de hielo cristalizado.

Algunos investigadores consideran que el hielo que recubre el agujero en la capa de ozono actúa como catalizador fotosensible y destruye todavía más el ozono. Es por esta causa que la capa de ozono está disminuyendo con mayor rapidez.

Consideran los científicos que el hielo en la estratosfera es un factor constante. En cambio el dióxido de carbono es un factor que va en aumento año tras 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 substancias 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 yodo 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. En Manhattan, por ejemplo, se han medido flujos de calor artificial del orden de  $630 \text{ Wm}^{-2}$ .

## **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.

## **Otros contaminantes**

### ***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.

Bibliografía:

#### ***El ozono troposférico***

Conocimiento y prevención de un nuevo contaminante

Ministerio de obras publicas, transportes y medio ambiente.

Dirección general de política ambiental.

#### ***Contaminación atmosférica***

D.J. Spedding

Editorial reverté S.A. 1981

#### ***Contaminación e ingeniería ambiental***

Contaminación atmosférica

J.L. bueno. H. Sastre. A.G. lavin

Universidad de Oviedo 1997

#### ***Temas de química***

##### ***Atmosfera y su contaminación***

Eduardo peris norra

Universidad politécnica de valencia

Servicio de publicaciones 1997