

Apuntes de Química del Medio Ambiente
3° de Ingeniería Química
Cuatrimestre B

Autor: Pedro García Cavero
La Web de Ingeniería Química
www.todoquimica.tk

BLOQUE I. Contaminación Atmosférica

Unidad 1. QUÍMICA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.

- 1.1. Introducción.
- 1.2. La atmósfera.
 - 1.2.1. Definición y función.
 - 1.2.2. Composición de la atmósfera.
 - 1.2.3. Variación de la presión en la atmósfera
 - 1.2.4. Estructura de la atmósfera.
 - a) En función de la composición.
 - b) En función de la temperatura.
- 1.3. Propiedades químicas de la alta atmósfera.
 - 1.3.1. Principales reacciones fotoquímicas que se dan en la atmósfera.
 - 1.3.2. Proceso cíclico de formación del ozono.
- 1.4. Contaminación atmosférica.
 - 1.4.1. Definición
 - 1.4.2. Ciclos biogeoquímicos y su papel en la contaminación atmosférica.
 - a) El ciclo del agua.
 - b) El ciclo del carbono.
 - c) El ciclo del azufre.
 - d) El ciclo del nitrógeno.
 - e) El ciclo del fósforo
 - f) El ciclo del oxígeno.
- 1.5. Contaminantes atmosféricos primarios.
 - 1.5.1. Contaminantes primarios más frecuentes.
 - a) Los aerosoles atmosféricos.
 - b) Compuestos del azufre. Óxidos de azufre.
 - c) Monóxido de carbono.
 - d) Compuestos del nitrógeno. Óxidos de nitrógeno.
 - e) Ozono.
 - f) Anhídrido carbónico.
 - g) Hidrocarburos.
 - 1.5.2. Contaminantes primarios menos frecuentes.
 - a) Metales tóxicos.
 - b) Compuestos halogenados.
 - c) Sustancias radioactivas.
- 1.6. Contaminantes atmosféricos secundarios.
 - 1.6.1. Contaminación fotoquímica. Smog fotoquímico.
 - 1.6.2. Acidificación del medio ambiente. Lluvia ácida.
 - 1.6.3. Destrucción de la capa de ozono.
- 1.7. Equilibrio energético de la tierra y la atmósfera. Efecto invernadero.

Unidad 2. ESTÁNDARS DE CALIDAD DEL AIRE. MÉTODOS DE MUESTREO Y ANÁLISIS. LEGISLACIÓN.

2.1. Calidad del aire.

2.1.1. Niveles de inmisión.

2.1.2. Fuentes de contaminación atmosférica. Emisiones.

- a) Contaminantes emitidos por la agricultura.
- b) Contaminantes emitidos de origen doméstico y comercial.
- c) Contaminantes emitidos por la industria.
- d) Contaminantes emitidos por los vehículos automóviles

2.2. Influencia de los procesos meteorológicos en la dispersión atmosférica.

2.3. Efectos producidos por la contaminación.

2.3.1. Sobre la salud humana. Toxicidad de los distintos contaminantes.

- a) Óxidos de azufre.
- b) Óxidos de nitrógeno.
- c) Monóxido de carbono.
- d) Fluoruros.
- e) Ozono.
- f) Metales tóxicos.
- g) Asbestos y amianto.
- h) PVC's

2.3.2. Sobre las plantas.

2.3.3. Sobre los materiales.

2.4. Legislación relativa a emisiones e inmisiones. T.L.V.S.

2.5. Aparatos y técnicas de medida.

2.5.1. Sistemas de purificación de gases.

- a) Cámaras de sedimentación.
- b) Cámaras ciclónicas.
- c) Separadores húmedos.
- d) Filtros de mangas.
- e) Lavadores Venturi.
- f) Precipitadores electrostáticos.

2.5.2. Sistemas de eliminación de gases contaminantes.

- a) Tratamientos antes de la emisión.
- b) Proceso de absorción.
- c) Proceso de adsorción.
- d) Proceso de reducción fotocatalítica.
- e) Proceso de combustión.

2.5.3. Técnicas de análisis.

- a) Técnicas que se basan en las volumetrías y las gravimetrías.
- b) Técnicas que se basan en espectrofotometrías.
- c) Técnicas electroquímicas.
- d) Técnicas cromatográficas.
- e) Determinación de algunos contaminantes.

BLOQUE II. Contaminación y tratamiento del agua.

Unidad 3. EL AGUA EN SU MEDIO NATURAL Y CONTAMINANTES.

- 3.1. Introducción.
- 3.2. Propiedades del agua.
- 3.3. El agua en el medio ambiente.
- 3.4. Calidad del agua.
 - 3.4.1. Características que definen la calidad del agua.
 - 3.4.2. Clasificación de las aguas.
 - 3.4.3. Legislación actual en materia de calidad de aguas.
- 3.5. Contaminación del agua.
 - 3.5.1. Origen de la contaminación.
 - 3.5.2. Tipos de contaminantes y efectos de la contaminación.
 - a) Contaminantes químicos.
 - b) Contaminantes físicos.
 - c) Contaminantes biológicos.
- 3.6. Indicadores químicos de la contaminación del agua.
 - 3.6.1. Contenido en oxígeno.
 - 3.6.2. Materia orgánica.
- 3.7. Tratamiento del agua para el consumo humano.
 - 3.7.1. Eliminación de materia en suspensión.
 - 3.7.2. Aireación.
 - 3.7.3. Ablandamiento.
- 3.8. Depuración de aguas residuales.
 - 3.8.1. Tratamiento primario (físico-químico).
 - 3.8.2. Tratamiento secundario (biológico).
 - 3.8.3. Tratamiento terciario (avanzado).

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

1.1. Introducción

La atmósfera es una envoltura gaseosa que rodea a la Tierra. La importancia de la atmósfera radica en que contiene los elementos indispensables para la formación de la vida (O_2 , CO_2 , N_2 , metales pesados, etc.) y en que absorbe las energías ionizantes que provienen del Sol. La contaminación atmosférica viene acompañada de la explotación intensiva de los recursos naturales. Apareció en la Revolución Industrial, y la población dejó de ser campesina y agrícola trasladándose a la ciudad a trabajar en las fábricas.

1.2. La atmósfera

1.2.1. Definición y función.

La atmósfera es una envoltura gaseosa que rodea a la tierra, cuya masa se encuentra concentrada a unos 200 km. de altitud. Su misión fundamental es la de absorber las radiaciones de longitud de onda corta que provienen del Sol. Si esta capa no existiera, las radiaciones harían imposible la vida sobre la Tierra, ya que las radiaciones que absorbe son muy energéticas y destruirían los tejidos de los seres vivos.

1.2.2. Composición de la atmósfera.

La atmósfera tiene una composición adecuada para el desarrollo de las reacciones vitales:

Composición de aire seco a nivel del mar:

	N_2	O_2	Ar	CO_2	Ne	He	CH_4	Kr	H_2	N_2O	Xe
Fracción molar	0,78048	0,20948	$9,34 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$1,818 \cdot 10^{-5}$	$5,24 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$1,14 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$8,7 \cdot 10^{-8}$
Peso molecular	28,013	31,998	39,948	44,010	20,183	4,003	16,043	83,800	2,016	44,013	131,300

CO_2 :

Fuentes: Descomposición de la materia orgánica, liberación de los océanos, combustión del petróleo.

Concentraciones: 330 ppm. a través de la troposfera.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

CO:

- Fuentes: Descomposición de la materia orgánica en sistemas poco ventilados, procesos industriales, combustión de aceites con poco O_2 .
- Concentraciones: 0'05 ppm. en aire limpio, de 1-500 ppm. en ciudades.

CH₄:

- Fuentes: Descomposición anaerobia de la materia orgánica; escapes de gas natural, fermentación anaerobia de los lodos.
- Concentraciones: 1-2 ppm. a través de la troposfera.

NO:

- Fuentes: Para formarse tienen que haber ocurrido procesos con gran desprendimiento de energía (combustiones 1500-200 °C). Descargas eléctricas, motores de combustión interna, combustión de materia orgánica.
- Concentraciones: 0'01 ppm. en aire limpio, 0'2 ppm. en atmósferas con smog.

O₃:

- Fuentes: Descargas eléctricas, difusión desde la atmósfera, smog fotoquímico. Es muy útil a una altura de 35-40 km., pero es muy perjudicial a nivel de suelo.
- Concentraciones: 0-0'01 ppm. en aire limpio, 0'5 ppm. en smog fotoquímico.

SO₂:

- Fuentes: Gases volcánicos (la mayor proporción de SO_2 tiene origen natural en las erupciones volcánicas), incendios forestales, acción bacteriana, combustión de petróleo, procesos industriales, etc.
- Concentraciones: 0-0'01 ppm. en el aire limpio, 0'1-2 ppm. en ambientes urbanos contaminados.

HC*:

- Fuentes: Proviene de las malas combustiones de la gasolina en los vehículos; pesticidas, fumigaciones en zonas agrícolas, terpenos emitidos por los bosques de coníferas.

Todos estos compuestos se encuentran en la parte baja de la atmósfera, pues son compuestos muy pesados. La mayor densidad de la atmósfera se encuentra en la parte más cercana al suelo.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

1.2.3. Variación de la presión atmosférica con la altitud:

La distribución de la materia en la atmósfera está relacionada con las presiones. A medida que nos elevamos sigue habiendo materia, pero en menor proporción. En la parte alta de la atmósfera habrá sustancias menos pesadas como el helio y el hidrógeno. Esto es consecuencia de la fuerza de la gravedad, y de la propiedad que tienen los gases para comprimirse. A partir de los 50 km. Sigue habiendo moléculas gaseosas pero en concentraciones mucho más bajas. La presión disminuye linealmente con la altitud en las capas inmediatas, después llega un momento donde la variación se hace exponencial.

Variación de la presión atmosférica con la altitud.

1.2.4. Estructura de la atmósfera

Se puede estudiar la estructura de la atmósfera atendiendo a distintos factores. Sin embargo, las divisiones más comunes son dos, estructura en función de la variación de la composición y estructura en función de la temperatura. Dos factores determinantes para el estudio de la atmósfera ya que son responsables de las propiedades de ésta en cada punto.

a) Estructura en función de la variación de la composición:

La composición de la atmósfera varía según la altitud ya que las distintas moléculas serán más o menos atraídas por la tierra dependiendo de su peso molecular. Las moléculas más pesadas se acumulan en la parte de la atmósfera más cercana al suelo, mientras que las moléculas más ligeras se encuentran en zonas más altas de la atmósfera.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

Homosfera	100 km. de altitud. Capa más cercana al suelo. En ella, la proporción O_2 , N_2 es constante.
Heterosfera	Tiene menos masa, contiene gases ligeros.
Exosfera	Esta capa se extiende a partir de los 1000 km. Las moléculas muy ligeras que puedan escapar no se ven afectadas por la gravedad de la Tierra.

b) Estructura en función de la temperatura:

Troposfera: Es la capa más próxima al suelo, tiene un espesor de unos 11 km., y en ella es donde se desarrolla la vida. Presenta unas propiedades que la distinguen del resto de las capas:

- Es la parte de la atmósfera más sometida a perturbaciones.
- La masa gaseosa se encuentra en continua agitación. Esta agitación es la responsable de que se mantenga constante su composición y su espesor.
- La temperatura desciende gradualmente con la altitud (unos $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ por cada 100 m de altitud)

Tropopausa: Es una línea de inversión de las temperaturas. Hasta llegar a ella, la temperatura decrece de 290 a 220 K. Esta línea dificulta la dispersión de los contaminantes a las siguientes capas, concentrándose así los contaminantes en la troposfera.

Estratosfera: (11-45 km. de altitud) En la estratosfera, las corrientes son horizontales, y se disponen en estratos. Al principio, la temperatura se mantiene constante en sentido vertical, pero entra en una zona donde tienen lugar reacciones fotoquímicas (ciclo O_3), y la energía

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

electromagnética se transforma en energía calorífica, que es lo que hace que aumente la temperatura. Así, a unos 45 km. de altitud, la temperatura vuelve a tener valores máximos. El ciclo del ozono ocurre en esta capa, porque la composición de oxígeno libre oxígeno molecular y ozono es la más adecuada.

Estratopausa: Es otra capa de inversión de temperaturas. Señala el límite entre la estratosfera y la mesosfera.

Mesosfera: (45-90 km. de altitud). El máximo de temperatura (0-5 °C) se da a los 50 km. de altitud, pues ahí la concentración de ozono es máxima. A medida que ascendemos, el ozono disminuye, y la temperatura también hasta llegar a un mínimo de -80 °C.

Mesopausa: Capa límite.

Termosfera: Es la capa más alejada del suelo, también se la denomina ionosfera. En esta capa, la temperatura vuelve a crecer con la altitud, a unos 500 km. llega a alcanzar temperaturas de 1500 °C. En esta zona apenas hay masa. En ella tienen lugar las reacciones de disociación de las moléculas de oxígeno y nitrógeno. La absorción de las radiaciones capaz de disociar estas moléculas es la causante del aumento de la temperatura.

1.3. Propiedades químicas de la alta atmósfera

1.3.1. Principales reacciones fotoquímicas que se dan en la atmósfera:

La energía electromagnética que proviene del Sol e incide en las especies químicas (moléculas, átomos, etc.) puede provocar dos fenómenos:

Transformaciones químicas de la materia

Almacenamiento de energía por medio de los estados excitados del electrón.

$$E = h \cdot \nu \quad \longrightarrow \quad E = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad \xrightarrow{\text{en } J/mol} \quad E = h \cdot N_A \cdot \frac{c}{\lambda} \quad \left| \begin{array}{l} h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \\ c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \end{array} \right.$$

Así que para que una onda electromagnética consiga romper un enlace químico, produciéndose así una reacción fotoquímica, debe tener una longitud de onda determinada:

$$E = h \cdot N_A \cdot \frac{c}{\lambda} \quad \longrightarrow \quad \lambda(nm) = \frac{h \cdot N_A \cdot c}{E_{\text{enlace}}}$$

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

Enlace	Energía de enlace (KJ/mol)	λ (nm)
O-H	465	257
H-H	436	274
C-H	415	288
N-H	390	307
C-O	360	332
C-C	348	344
C-Cl	339	353
Cl-Cl	243	492
Br-Br	193	620
O-O	146	820

Como se desprende de la tabla y de la ecuación que obtuvimos, cuanto mayor es la energía de enlace, la longitud de onda de la radiación electromagnética ha de ser menor. Esto es lógico ya que las radiaciones son más energéticas cuanto menor es su longitud de onda.

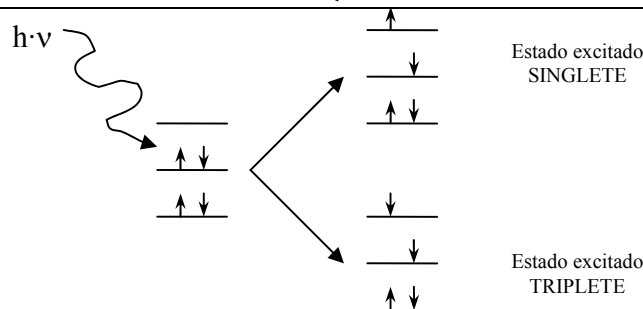
De todo el espectro electromagnético, las radiaciones que tienen influencia en la atmósfera son las comprendidas entre 200 nm. (UV) hasta 100000 nm. (IR), siendo las más ionizantes las comprendidas entre 200 y 320 nm. que no llegan a atravesar la atmósfera y son absorbidas por sus componentes. Éstas son las radiaciones ideales para llevar a cabo la descontaminación, pero tienen un problema y es que se necesita una inversión económica muy alta para montar una planta con esta tecnología, por lo que se utilizan los fotosensibilizadores o fotocatalizadores. Los fotosensibilizadores son sustancias que absorben energía electromagnética y la transforman en energía química. El rango del espectro que suele utilizarse es el del visible (400-750 nm.). Una vez se tiene energía química se puede producir la mineralización. Una instalación biológica de bacterias no es compatible con las instalaciones fotoquímicas ya que las bacterias no aceptan las altas radiaciones; sin embargo sí se usan conjuntamente cuando se trata de desinfectar.

Cuando la radiación solar incide en la alta atmósfera se pueden producir dos fenómenos en las moléculas que componen la alta atmósfera:

Excitación de moléculas:

La excitación de moléculas consiste en la transición de electrones periféricos de su estado fundamental a un orbital desocupado superior. Se dice que la molécula se encuentra en un estado excitado singlete cuando el electrón mantiene su espín y en un estado excitado triplete cuando el electrón no mantiene su espín. Del paso del estado singlete al estado triplete se produce una emisión de energía en forma de calor.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica



Cuando un electrón vuelve al estado fundamental se desprende energía en forma de calor o en forma de luz. Si la molécula se encontraba en un estado excitado singlete y se desprende luz, se denomina fluorescencia a este proceso. Si por el contrario, la molécula se encontraba en un estado excitado triplete y se desprende energía en forma de luz, a este proceso se le denomina fosforescencia.

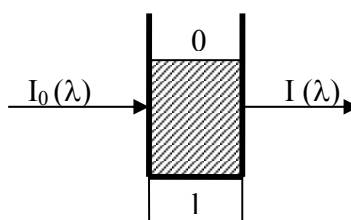
Estas dos propiedades se pueden aplicar en el análisis de contaminantes por medio de la ley de **LAMBERT-BEER**:

$$A = \varepsilon(\lambda) \cdot c \cdot l$$

Donde **A** es la absorbancia de la muestra, $\varepsilon(\lambda)$ es el coeficiente de absorción, **c** es la concentración de la muestra y **l** es la anchura de la celda de la muestra del espectrofotómetro.

Se define la absorbancia de la muestra como la relación entre las intensidades de luz a la entrada de la celda y a la salida de la celda.

$$A = \log \frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)}$$



Reacciones fotoquímicas:

- Fotoionización de las moléculas: En estas reacciones, cuando la energía electromagnética es absorbida por la molécula, ésta pierde un electrón. Estos compuestos hacen que la atmósfera esté enrarecida y sea muy activa eléctricamente.

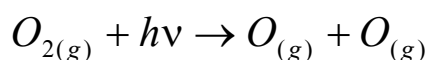
Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

Proceso	Energía ionización	$\lambda(\text{nm})$
$N_2 + h\nu \rightarrow N_2^+ + 1 e^-$	1495	80,1
$O_2 + h\nu \rightarrow O_2^+ + 1 e^-$	1205	99,3
$O + h\nu \rightarrow O^+ + 1 e^-$	1313	91,2
$NO + h\nu \rightarrow NO^+ + 1 e^-$	890	134,5

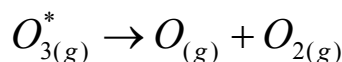
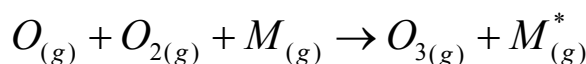
- Fotodisociación del oxígeno: A gran altura sólo hay átomos libres, a partir de 90 km. la relación molécula átomo está más equilibrada y a partir de 30 km. se produce la combinación de átomos y moléculas obteniéndose como producto moléculas de ozono (O_3), la concentración de ozono es de 0.2 ppm. Este proceso es cíclico:

1.3.2. Proceso cíclico de formación del ozono:

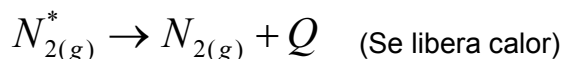
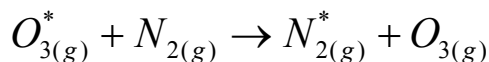
- Producción de oxígeno atómico. Se produce en la zona más alta de la atmósfera ya que son las energías electromagnéticas de 240 nm. o menos de longitud de onda (λ) las que son absorbidas por el oxígeno para disociarse. Esta energía se encuentra en el espectro del UV-C:



- Formación de ozono. Por medio de una molécula que actúe como mediador se produce la asociación química de un átomo de oxígeno con una molécula de oxígeno formando una molécula de ozono. Si no existe una molécula mediadora se produciría la disociación del ozono.

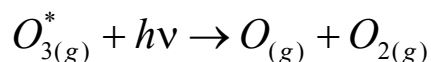


Normalmente la molécula mediadora es el nitrógeno molecular:

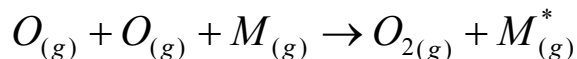


- Disociación del ozono. A menor altura se produce la absorción de energía electromagnética del UV-B (280 nm.) por parte de la molécula de ozono disociándose en oxígeno molecular y oxígeno atómico:

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica



- Obtención de oxígeno molecular. Y por último dos átomos de oxígeno se asocian para formar una molécula de oxígeno con la ayuda de un mediador como en el punto 2:



A partir del oxígeno molecular se obtendrá oxígeno atómico en el punto 1.

Variación de la concentración de O₃ con la altitud.

1.4. Contaminación atmosférica

1.4.1. Definición:

La contaminación atmosférica consiste en la presencia de sustancias o de formas de energía que alteran la calidad de la misma, de modo que provoquen riesgos, daños o molestias para las personas y para el ecosistema en general.

La actividad del hombre y de la naturaleza siempre han contribuido a esta contaminación por medio de la emisión de gases, partículas, aerosoles, etc. La contaminación aparece cuando los ciclos biogeoquímicos no son capaces de absorber estas emisiones. Se produce la rotura del equilibrio químico de los ciclos.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

1.4.2. Ciclos biogeoquímicos y su papel en la contaminación atmosférica:

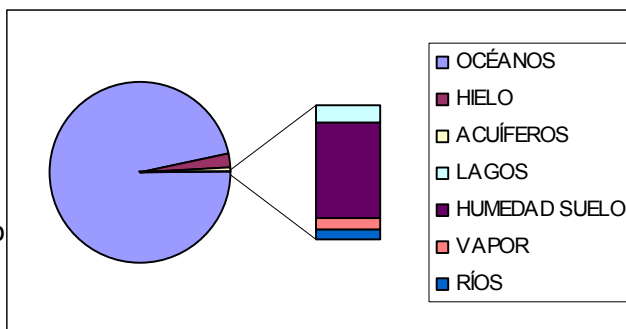
Los ciclos biogeoquímicos son procesos naturales que reciclan elementos de diferentes formas químicas desde el medio ambiente hasta los organismos vivos en una atmósfera limpia. Cuando los organismos mueren se produce el proceso inverso. En este proceso participan elementos como el agua, el carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y oxígeno asociado al resto. La contaminación se producirá cuando alguno de los elementos se acumule en alguno de los ciclos por la acción del hombre (antropogénesis).

a) Ciclo del agua:

Desde el punto de vista de la contaminación atmosférica, el agua es el disolvente de la mayor parte de contaminantes y sustancias, transporta la mayoría de los nutrientes, favorece las reacciones atmosféricas, actúa como factor de termorregulación de la corteza terrestre en su proceso de vaporización y condensación, interviene en el proceso de dispersión de los contaminantes retornándolos a la superficie de la tierra.

Reparto del agua:

- **97%** Océanos.
- **3%** Agua dulce, de los cuales:
 - **75%** Hielos, glaciares.
 - **24%** Acuíferos.
 - **0.03%** Ríos.
 - **0.06%** Humedad del suelo
 - **0.3%** Lagos.
 - **0.035%** Vapor.



b) Ciclo del carbono:

El carbono se encuentra principalmente en las rocas carbonatadas y en el CO_2 en fase gas. Es uno de los elementos fundamentales de los compuestos orgánicos, en los que se encuentra en forma de proteínas, hidratos de carbono, grasas y ácidos nucleicos.

- El CO_2 atmosférico es absorbido por los organismos productores por medio de la fotosíntesis en la que gracias a la clorofila (fotocatalizador) se produce glucosa a partir del CO_2 .
- Los organismos consumidores adquieren la glucosa de los productores y la transforma en compuestos más complicados.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

- Los organismos vivos metabolizan la glucosa para obtener energía. En este proceso se libera CO_2 a la atmósfera.
- Cuando los seres vivos mueren se produce la biodegradación de la materia orgánica que, en condiciones aerobias, pueden dar lugar a CO_2 gaseoso o a carbonatos en disolución. En condiciones anaerobias, el carbono se transforma en metano y el metano se transforma en CO_2 por combustión u oxidación. Muchas veces el carbono se almacena en partes bajas del océano o en estratos inferiores de la tierra y por fermentación anaerobia se produce combustible fósil (petróleo o carbón).

c) Ciclo del azufre:

El azufre se almacena fundamentalmente en forma de sulfatos. Los seres vivos también necesitan el azufre y lo metabolizan transformándolo en aminoácidos azufrados, con lo que pasan a formar parte de la materia viva. Cuando el organismo muere, es degradado gracias a la acción de las bacterias heterótrofas. Si la descomposición tiene lugar en ausencia de oxígeno dará lugar a ácido sulfhídrico; si por el contrario tiene lugar con oxígeno dará lugar a SO_2 ó SO_3 . El ácido sulfhídrico puede ser oxidado, depositándose como azufre elemental.

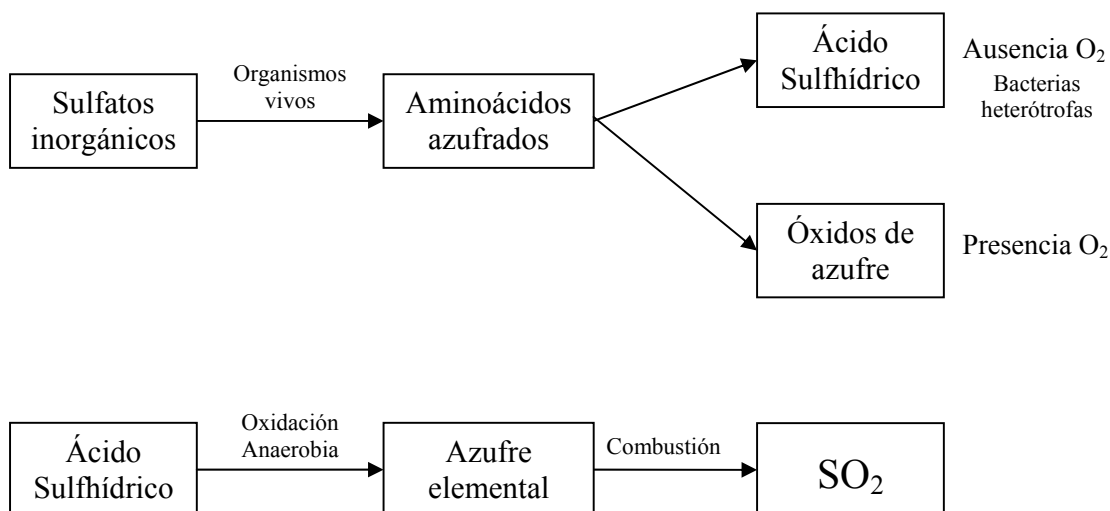
Las principales fuentes del SO_2 a la atmósfera son los volcanes en primer lugar. Luego se encuentra la combustión de carbón y petróleo. También es una fuente importante de SO_2 la brisa marina que arrastra partículas de agua con sulfatos formando el aerosol marino.

Ciclo del azufre:

- El SO_2 tiene una vida media en el aire de 7 días durante los cuales puede oxidarse catalíticamente con agua a SO_3 .
- El SO_3 con las partículas de agua forma el H_2SO_4 en disolución que vuelve a la tierra con la lluvia.
- Una vez cae en la tierra reacciona con los componentes del suelo y forma sulfatos y otros derivados azufrados.
- Si la biodegradación sucede de forma anaerobia se forma H_2S que sufre una oxidación en el aire (con el estado singlete del oxígeno, muy oxidante) a SO_2 y otra vez a SO_3 .

El ciclo estaba estabilizado hasta que se llevó a cabo una utilización masiva de los combustibles fósiles y el desarrollo de la industria de obtención de metales a partir de la pirita.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica



d) Ciclo del nitrógeno:

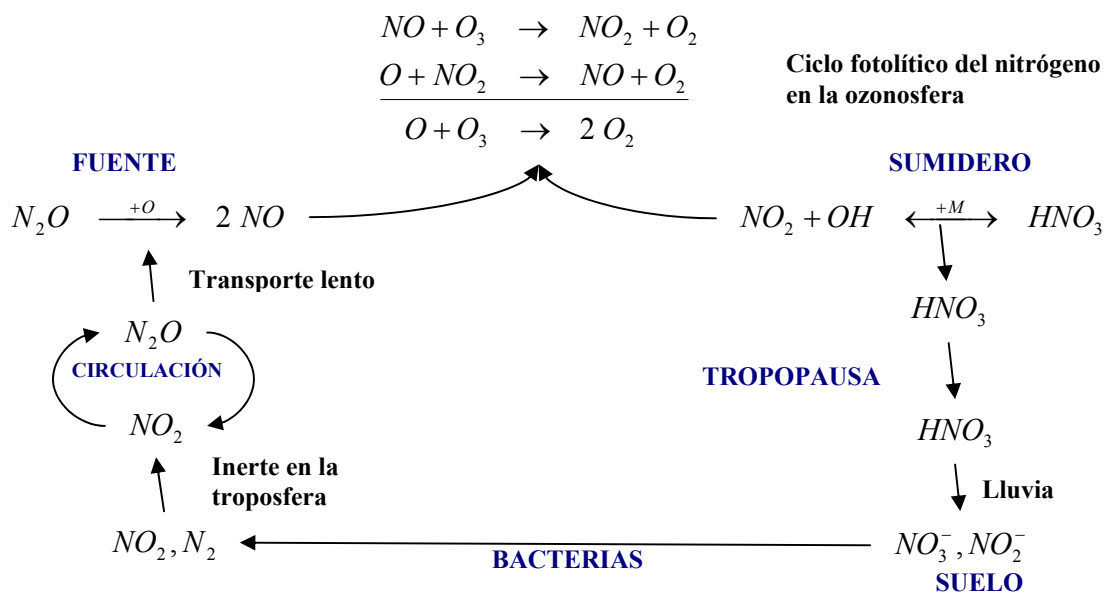
El nitrógeno es un oligoelemento y es esencial para la vida de los seres vivos. La fuente principal de nitrógeno es el aire en el que se encuentra abundantemente (79 %), sin embargo no hay muchos procesos por los cuales se fije en el ciclo ya que es una molécula muy estable, los átomos están unidos por un triple enlace y se requiere mucha energía para romperlo:

- Fijación biológica:
 - Bacterias específicas.
 - Amonificación por bacterias y hongos.
 - Nitrificación por bacterias.
 - Desnitrificación por bacterias.

- Fijación atmosférica: Los procesos que llevan a cabo una combinación a temperaturas muy altas de nitrógeno y oxígeno, tienen como consecuencia la formación de óxidos de nitrógeno.
 - Procesos fisicoquímicos naturales (tormentas).
 - Procesos artificiales (motores de combustión).

Hay una proliferación masiva de **NO** debido a la actividad del hombre en los procesos de combustión para generar energía.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica



El ciclo **NO**, **NO₂** se produce a nivel del suelo, y es uno de los contaminantes del “smog fotoquímico”. Su presencia es preocupante si llega a la zona de la ozonosfera ya que participa en el ciclo de la destrucción de moléculas de ozono. En la zona de la estratosfera, nos preocupa la presencia de **NO**, mientras que en la troposfera el **NO** se comporta como un inerte.

La acción de los aviones, cohetes espaciales, etc. Es una fuente de formación de **NO**. Uno de los precursores del **NO** es el **NO₂**, que se forma por la acción de las bacterias. Es muy estable y puede llegar a la troposfera. El **NO₂** también es oxidado por los radicales **OH·**, que lo transforman en **HNO₃**, que acaba depositándose como componente de la lluvia ácida. Si no hubiera acción del hombre, este ciclo estaría equilibrado.

e) Ciclo del fósforo:

Oligoelemento también que se encuentra en el protoplasma de las células. El fósforo es componente de las ácidos nucleicos y de las moléculas que almacenan energía (ATP). Forma parte de los dientes y los huesos de animales. También forma parte de las conchas de moluscos. La gran reserva de fósforo está en las rocas marinas, en las que se encuentra en forma de fosfato cálcico e hidroxifosfato cálcico.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

- Se libera el fósforo de las rocas y los suelos por diversos procesos (disolución, erosión, etc.).
- Pasa a los ecosistemas acuáticos.
- Absorbido por los vegetales del suelo empapado, pasa a formar parte de los productores.
- Los productores son el alimento de los consumidores, por lo que de este modo el fósforo pasa a los consumidores.
- Cuando los productores y los consumidores mueren, el fósforo vuelve al suelo a través de la biodegradación. Si es aerobia se forman fosfatos, y si es anaerobia se forma la fosfina (H_3F).
- Una vez en el suelo vuelve al agua a través de la lluvia y se deposita en los fondos marinos formándose las rocas.

Los sistemas acuáticos que recogen las aguas residuales urbanas contienen mucho fósforo en forma de fosfatos que son los nutrientes. El problema es que las poblaciones de algas crecen desmesuradamente y no dejan pasar la luz del sol, no produciéndose así la fotosíntesis y provocando la descomposición anaerobia en el lecho. Además dificultan la solubilidad del oxígeno en el agua, proceso que se denomina **eutrofización** de las aguas.

A nivel doméstico, el fosfato es uno de los componentes de los detergentes comerciales, donde actúa como acomplexante del **Ca** para evitar el uso innecesario o excesivo de los detergentes. El polifosfato es un precipitante del **Ca**.

f) Ciclo del oxígeno:

Relacionado con el resto de los ciclos biogeoquímicos y más directamente con el ciclo del carbono. El oxígeno se produce a partir de la fotosíntesis y se consume en los procesos de combustión para obtener energía. Desequilibrios en el ciclo de carbono provocan desequilibrios en el ciclo del oxígeno. Si se desbordan los procesos de combustión, también habrá deficiencia de oxígeno.

1.5. Contaminantes atmosféricos primarios

Los contaminantes atmosféricos pueden clasificarse según su origen como **primarios**, si han sido vertidos directamente a la atmósfera; o **secundarios** si no son vertidos por focos emisores. Los primarios se miden en los focos emisores y constituyen la contaminación convencional, mientras que los secundarios se miden en el medio y se producen como consecuencia de interacciones químicas entre contaminantes primarios.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

Para reflejar la concentración de contaminantes en la atmósfera se usan dos unidades principalmente según el origen del contaminante. Se habla de partes por millón (ppm.) o partes por billón (ppb.) cuando se trata de contaminantes gaseosos, equivaliendo a la fracción en volumen $\times 10^6$. Por otro lado, se habla de microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) cuando se trata de partículas y gases, equivaliendo al peso del contaminante por unidad de volumen de aire.

1.5.1. Contaminantes primarios más frecuentes:

a) Los aerosoles atmosféricos:

Los aerosoles son dispersiones de sustancias sólidas o líquidas en el aire. Provocan problemas como la pérdida de visibilidad, cáncer, dispersan la luz del sol, etc.

Su tamaño oscila entre 0.1 y 10 μm . Cuando las partículas tienen este tamaño permanecen en suspensión. Si los tamaños son superiores sedimentan. En función de su tamaño clasificamos los aerosoles como:

- Núcleos de Aitken. Partículas submicrómicas (menos de 0.1 μm de dm). Permanecen largo tiempo en el aire; su origen son moléculas que se han formado por interacción de otras moléculas en el aire. Afectan mucho a los seres vivos, porque al ser tan pequeñas son capaces de llegar a los alvéolos pulmonares.
- Partículas medias (en suspensión). Tienen un diámetro entre 0.1 y 10 μm .
- Partículas sedimentables. Con diámetro superior a 10 μm .

En función de su origen se clasifican:

- Polvo. Partículas sólidas de origen mineral, o materia sólida dispersada por el aire. Proviene de la erosión de los suelos y de la combustión del carbón. Contienen **Al**, **Si**, **Fe**, **Ca**, etc.
- Humos industriales. Partículas sólidas o líquidas debidas a la volatilización de metales seguida o no de su oxidación por el aire o condensación de vapores.
- Humos de combustión. Humos debidos a procesos de combustión, constituidos por partículas de carbono y de hidrocarburos no quemados y cenizas volantes (Partículas de Eugene).
- Aerosoles marinos. Contienen **Na** y **Cl**. Se forma debido al arrastre de partículas de sal en la evaporación del agua del mar. Tienen una conductividad elevada por lo que favorece la corrosión en las superficies metálicas donde se deposita.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

Composición química:

La composición química de los aerosoles depende fundamentalmente de su origen:

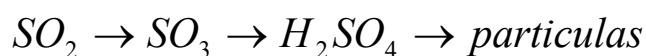
- Cuando contienen **Al, Fe, Ca** ó **Si**, provienen de la erosión del suelo, del polvo de las rocas y de la combustión del carbón.
- Cuando tienen **Na** y **Cl**, provienen fundamentalmente de los aerosoles marinos.
- El **Cl** presente en forma de aerosoles puede provenir también de la incineración de polímeros organoclorados.
- Si contiene carbón en su composición, suele tener su origen en la combustión incompleta de hidrocarburos pesados.
- Si hay **Se** y **Sb** (muy volátiles), son emitidos en los procesos de combustión del petróleo, carbón, residuos industriales, ...
- El **V** puede deberse a la combustión de los residuos del petróleo.
- El **Zn** es debido por la combustión de residuos orgánicos, residuos del petróleo.
- El **Pb** cada vez se emite en menor proporción. Antes se utilizaba como antidetonante en la combustión de gasolinas (tetraetilplomo).
- Procesos de combustión de polímeros residuales emiten yoduros.
- Los aerosoles que contienen crisolita (**Mg₃Si₂O₅(OH)₄**), provienen de los asbestos, productos cancerígenos ya que son partículas muy pequeñas.
- Partículas con **W** (Wolframio) provienen de la combustión de residuos del petróleo (zona de Venezuela principalmente).

Algunas partículas de aerosol tienen un origen biológico, y de esta manera se dispersan virus, bacterias, esporas de bacterias y de hongos y polen.

Pero sin embargo, la mayor parte de los aerosoles que usamos tienen origen orgánico y provienen de los suelos: carbonatos, óxidos metálicos, vidrios, cristales electrolitos y otras partículas disueltas en partículas de agua.

Hay una relación entre comportamiento químico y tamaño:

- Las partículas de aerosoles más pequeñas, generalmente tienen carácter ácido y son muy oxidantes. Proviene de la oxidación de **SO₂**:



Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

También provienen de las partículas de ácido nítrico, formados a partir de los óxidos de nitrógeno. Hay un grupo importante de hidrocarburos oxigenados que tienen un origen natural (emitidos por las plantas), y también los hidrocarburos quemados o sin quemar que se emiten por los tubos de escape de los automóviles. Estas partículas, en contacto con el oxígeno del aire y radicales como **OH·**, acaban como aerosoles. Tienen mayor capacidad de penetración en los alvéolos pulmonares, por lo que su impacto medioambiental es importante.

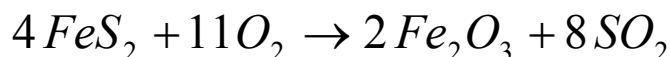
- Las partículas de aerosol más gruesas tienen carácter fundamentalmente básico, y son los que han sido generados mecánicamente por los procesos de erosión del suelo y de las rocas calcáreas. Sedimentan más fácilmente y suelen hacerlo en las zonas próximas al foco emisor. Provocan un menor impacto medioambiental.

La incineración de residuos sólidos industriales o de cualquier tipo es la fuente primordial de aerosoles. Los procesos de fumigación de campos en avionetas es un modo de contaminación por aerosoles. También las actividades agrícolas, sobre todo la manipulación de cereales, van acompañados de una emisión de aerosoles. Otras actividades que producen aerosoles son el tratamiento del suelo con fertilizantes, las industrias cementeras, las obras de construcción, la pintura, etc.

b) Compuestos de azufre. Óxidos de azufre:

Los principales compuestos del azufre son: **H₂S**, **SO₂** (0,2 ppm.), **H₂SO₄**, sulfatos y mercaptanos. Y las principales fuentes:

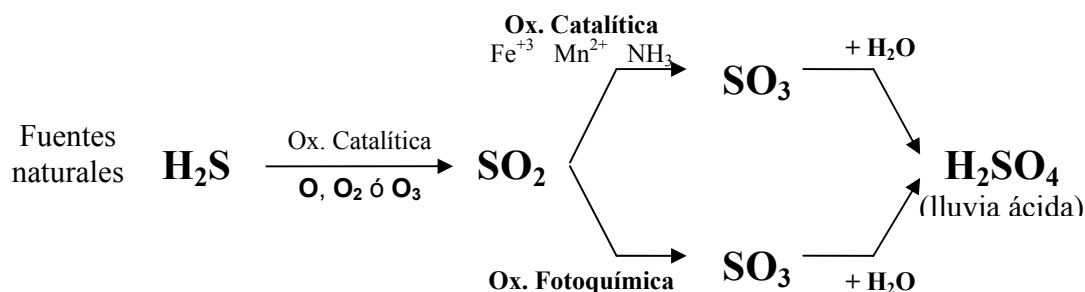
- Combustión de carburantes fósiles.
- Procesos de fundición de **Cu**, **Pb**, **Zn**, **Fe** (en forma de Pirita)
Tostación de la Pirita:



- Descomposición y combustión de la materia orgánica.
- Aerosol marino.
- Emisiones de volcanes

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

Origen y destino de los compuestos del azufre:



H₂S. Su origen es la descomposición anaerobia de la materia orgánica, sobre todo de las proteínas azufradas. Esta especie es muy inestable, y se oxida rápidamente a **SO₂** por acción del oxígeno molecular, del oxígeno atómico y de especies más oxidantes como el ozono y los radicales **HO·**. Esta oxidación está potenciada por la humedad del ambiente.

SO₂. De los componentes del azufre es el que se encuentra en mayor proporción, sin embargo su concentración media es de 0.2 ppb. Es un gas incoloro, tiene olor picante, es irritante, es más denso que el aire, pero se traslada muy rápidamente por éste. Es un gas bastante estable, que llega a permanecer del orden de 7 días en la atmósfera antes de oxidarse a **SO₃**.

La oxidación de **SO₂** a **SO₃** no es inmediata; atraviesa un estado intermedio muy energético. Para facilitar esta oxidación, o utilizamos catalizadores (fundamentalmente compuestos de **Fe⁺³**, **Mn⁺²** o **NH₃**) que están presentes en la atmósfera; o bien se da de forma natural mediante radiaciones electromagnéticas (oxidación fotoquímica). En ambientes soleados, la oxidación es mucho más rápida.

SO₃. Es una sustancia muy reactiva con el agua, y acaba como lluvia ácida que cae a la tierra. Las erupciones volcánicas emiten una cantidad importante de óxidos de azufre.

Sulfatos. Su origen es fundamentalmente el aerosol marino que es el responsable de la presencia de sulfato amónico y sulfato cálcico en el aire.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

c) Monóxido de carbono:

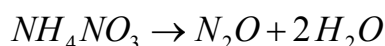
Es el contaminante mayoritario en la capa inferior de la atmósfera. Su concentración es de 0,13 ppm. en la troposfera. Es un gas incoloro, inodoro e insípido; ligero, poco soluble en agua, inflamable pero no mantiene la llama de combustión. Y sobre todo es un gas muy tóxico. Se produce como consecuencia de:

- Combustión incompleta de carburantes fósiles, refinado del petróleo, procesos industriales, incineración de residuos sólidos.
- Reacción a elevada temperatura entre el CO_2 y materiales que contienen carbono.
- Disociación del CO_2 a elevadas temperaturas.
- Proceso de producción y degradación de la clorofila en las plantas.
- Oxidación atmosférica del metano iniciada por el $\text{OH}\cdot$ radical y los peróxidos. El metano atmosférico procede de la degradación anaerobia de la materia orgánica.
- Procesos de producción y degradación de la clorofila de las plantas. La clorofila es una sustancia básica en el proceso de la fotosíntesis; actúa como fotorreceptor de energía luminosa. Es un complejo de **Mg**, donde hay una densidad electrónica importante. Es un heterociclo. Este sistema eléctrico resonante va a utilizar los fotones para excitar a los electrones que van a reducir el CO_2 atmosférico. El CO_2 reducido, junto a las moléculas de agua van a dar lugar a los hidratos de carbono. Este es el objetivo de la fotosíntesis.

d) Compuestos de nitrógeno. Óxidos de nitrógeno:

Son contaminantes gaseosos, sobretodo en una atmósfera urbana. El **NO** actúa como catalizador en el proceso en el que se consume ozono y átomos de oxígeno. En la parte baja de la atmósfera también se produce el ciclo del **NO**, **NO₂**, y más acentuadamente en épocas del año soleadas y donde el tráfico es mayor.

Óxido Nitroso (**N₂O**):

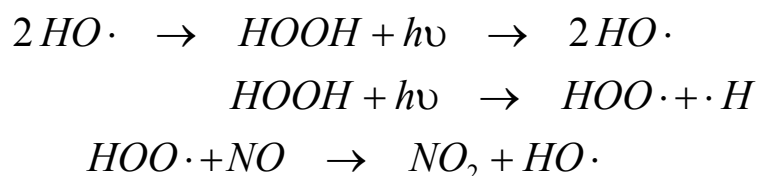


- Más abundante en la baja atmósfera, estratosfera. $\text{N}_2\text{O} + \text{O} \rightarrow 2\text{NO}$
- No es contaminante.
- Emitido por la acción bacteriana en el suelo sobre fertilizantes nitrogenados.
- Es inerte y se difunde hasta la estratosfera.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

Óxido Nítrico (NO_2):

- Tóxico y contaminante.
- Emitido por fuentes naturales y antropogénicas como los procesos de combustión a altas temperaturas.
- Forma un compuesto con la hemoglobina (nitrohemoglobina), inhibiendo la formación de la oxohemoglobina. Esto provoca la asfixia.



Amoníaco (NH_3):

- Proviene de la biodegradación de la materia orgánica en condiciones anaerobias.
- Sustancia tóxica que existe permanentemente en el aire aunque no sobrepasa las concentraciones peligrosas a no ser por las emisiones accidentales de origen antropogénico como en las industrias de fertilizantes, explosivos, etc.

N_2O_3 , N_2O_5 , N_2O_4 :

Son óxidos de nitrógeno que provienen de la dimerización del NO_2 . Son especies inestables, que acaban oxidándose y depositándose como partículas de aerosol. Reaccionan con el agua para dar lugar a ácido nitroso y ácido nítrico. Acaban retornando al suelo en forma de lluvia ácida.

e) Ozono:

El ozono es una forma alotrópica del oxígeno. En condiciones normales es un gas incoloro, picante pero agradable para las personas sanas mientras que es muy pernicioso para las personas con problemas en las vías respiratorias, ya que producen ataques de asma debido a su gran carácter oxidante. La concentración de ozono a nivel del suelo es muy baja y se forma de manera natural en las tormentas con las descargas eléctricas que rompen las moléculas de oxígeno creándose oxígeno singlete atómico que reacciona con otra molécula de oxígeno para dar ozono.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

El ozono participa en el ciclo fotolítico del **NO-NO₂**. Si este ciclo tiene presencia de hidrocarburos y de hidrocarburos parcialmente oxidados (peróxidos), el **NO** será oxidado por estos compuestos y de este modo no se consume el ozono que se produce en el ciclo, creándose una acumulación de ozono local.

El ozono es el responsable de la oxidación de la mayoría de los contaminantes primarios presentes en la atmósfera. Participa en la oxidación del sulfhídrico a dióxido de azufre y del monóxido de carbono al dióxido de carbono. Son numerosas las olefinas y sustancias orgánicas como los polímeros que son dañados por el ozono.

f) Dióxido de carbono:

La combustión de hidrocarburos fósiles para obtener energía ha producido una emisión masiva de **CO₂** que ha provocado la alteración del ciclo de carbono. El **CO₂** no es tóxico, pero absorbe radiaciones de longitud de onda cercanas al infrarrojo que son emitidas por la Tierra (que se encuentra a una temperatura media de 300 K) debido a su comportamiento como cuerpo negro. Esta absorción del infrarrojo hace que se acumule energía en la zona de la atmósfera cercana al suelo y como consecuencia que aumente la temperatura. Sin embargo el **CO₂** no absorbe la radiación UV que proviene del Sol. A parte del **CO₂** emitido por las plantas, la oxidación de monóxido de carbono también es una fuente importante de **CO₂**. La concentración de **CO₂** en la atmósfera es de 250 a 400 ppm.

g) Hidrocarburos (HC):

Como contaminantes nos preocupan los hidrocarburos más volátiles (P_{vapor} más alta). Los hidrocarburos que contienen de uno a cuatro átomos de carbono son gases a temperatura ambiente, por lo que serán los más importantes desde el punto de vista medioambiental. La presencia de hidrocarburos en la atmósfera favorece las reacciones fotoquímicas

ORIGEN DE LOS HIDROCARBUROS:

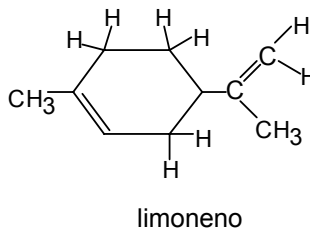
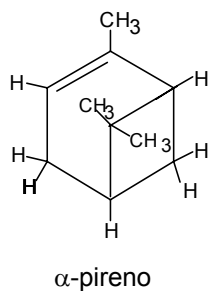
Origen natural:

- Emisiones de gas en zonas petrolíferas.
- **CH₃Cl** emitidos por algas marinas, plantas y volcanes.
- **CH₄** y mercaptanos producidos por la fermentación anaerobia.

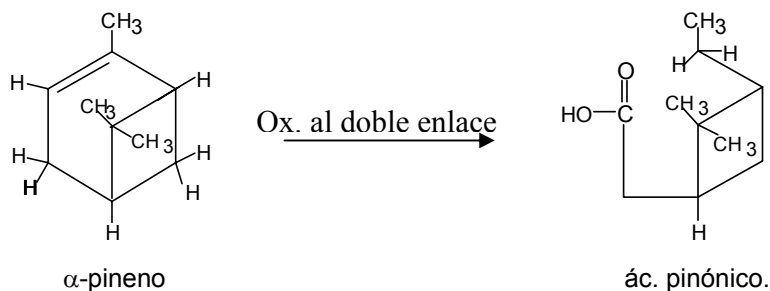
Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

- Terpenos emitidos por la vegetación, microorganismos, residuos animales, emisiones volcánicas.

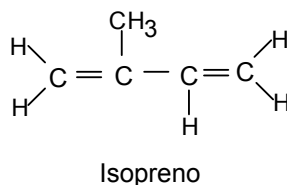
La vegetación es uno de los focos más importantes de emisión de HC. Emiten sobre todo etileno y las coníferas emiten α -pireno y limoneno.



En una atmósfera en la que tengamos **NO**, **NO₂** y fotones del UV-A, ocurre una reacción de oxidación donde el producto es un ácido derivado del HC:



El **2-metil-1,2-butadieno** (isopreno o caucho natural), lo emiten fundamentalmente eucaliptos y robles.

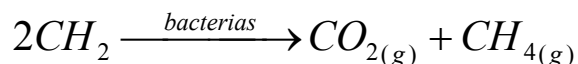


Sin embargo, la vegetación de los bosques, a la vez que emiten estas sustancias, tiene hojas hidrófobas y lipofílicas que absorben las grasas y los compuestos orgánicos y permiten su transporte al interior de la planta. Actúan como filtro de una atmósfera cargada de contaminantes.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

Origen antropogénico:

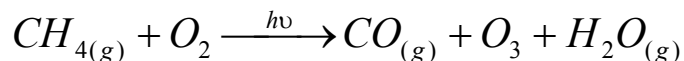
- Tubos de escape de los automóviles. Se emiten grandes cantidades a la atmósfera de gasolina sin quemar o parcialmente quemada.
- Llenado de depósitos en las gasolineras. Se desplaza el aire del depósito al llenarse de gasolina; el aire que sale arrastra moléculas de gasolina.
- Refinerías de petróleo y todas las industrias que de ellas dependen como el refinado, el craqueo, síntesis de polímeros, etc.
- Industrias que utilizan el gas natural o los GLP como combustibles o como materias primas.
- Industrias metalúrgicas que usan disolventes orgánicos para limpiar o lubricar, industrias de limpieza en seco, bases de pinturas, etc..
- Derivados de halogenados y CFC's (1,1,1-tricloroetano, tricloroetano, percloroetano, etc.). Son muy persistentes y acaban en la estratosfera donde se involucran en el ciclo de destrucción del O_3 .
- Dioxinas cloradas, hidrocarburos policíclicos PAH's, bifenilos, compuestos organonitrogenados, organosulfurados y todas las familias de pesticidas.
- Explotaciones ganaderas y agrícolas. Son unas fuentes importantes de emisión de CH_4 a la atmósfera. En presencia de las bacterias del intestino de las vacas, se forma CO_2 (g) en forma de flatulencias



Al año se emite del orden de 85 toneladas de metano de origen animal. Los residuos que forman estos animales contaminan los acuíferos por filtraciones. También hay una contaminación importante de los acuíferos por bacterias. Las bacterianas se pueden eliminar con radiaciones o clorando el agua (según tengan o no esporas). También las explotaciones agrícolas (arrozales, zonas de cultivo pantanosas, etc.) constituyen otro de los focos importantes de contaminación por metano. Todo lo que hay en la superficie sufre un proceso de putrefacción anaerobio. El CH_4 también proviene de la putrefacción de los seres vivos en el mar. Este metano, se combina con el **Cl** y con el **Br** y así, lo que emite realmente son derivados halogenados del metano (CH_3Cl , CH_3Br , CH_3I , ...). La descomposición anaerobia de las algas produce también compuestos organohalogenados.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

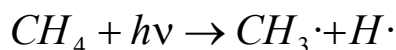
Una vez en el aire el metano sufre una oxidación fotoquímica, produciendo **CO** y **O₃** de la que procede la mayor parte del vapor de agua de la atmósfera:



CLASIFICACIÓN DE HIDROCARBUROS:

- Alcanos o parafinas (**C-C**):

Son hidrocarburos saturados que a través de reacciones fotoquímicas dan lugar a radicales de alquilo, que son especies extremadamente reactivas, que reaccionarán con una molécula de **O₂** creando peróxidos u oxidándose:



- Alquenos u olefinas (**C=C**):

Son hidrocarburos con dobles enlaces y más reactivos que los alcanos. Reaccionan mediante reacciones de adición al doble enlace. Son precursores de aldehídos y cetonas.

- Hidrocarburos aromáticos:

En el aire intervienen en reacciones de sustitución del hidrógeno por otro grupo funcional y su reactividad se encuentra entre los dos grupos de hidrocarburos anteriores. Por sí solos se consideran muy contaminantes.

- Acetileno de cadena larga (**C≡C**).

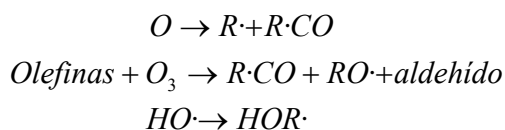
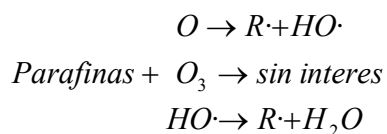
- Hidrocarburos oxigenados.

- Aldehídos y Cetonas (**C=O**).

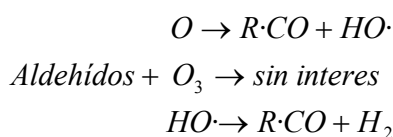
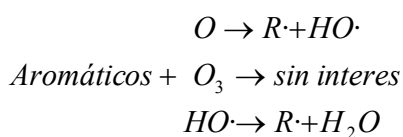
El formaldehído y la acroleína son los dos más contaminantes. Son molestos ya que irritan los ojos. Presentan una absorbancia intensa de las energías entre 300 y 700 nm., siendo el doble enlace al **O** el que absorbe la energía.

REACCIONES PRINCIPALES DE HIDROCARBUROS:

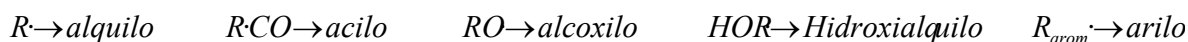
Las reacciones más importantes en las que intervienen los hidrocarburos son:



Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica



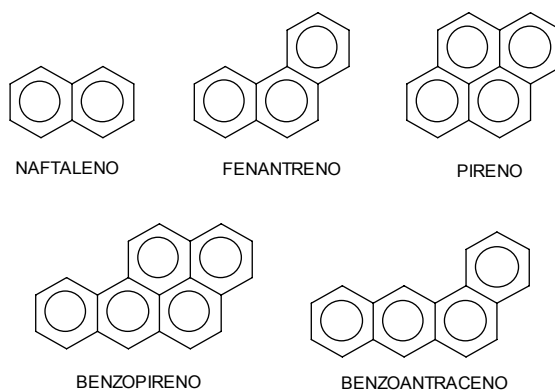
Radicales:



PRINCIPALES HIDROCARBUROS

PAH's (HC aromáticos polinucleares)

Es una vasta familia de HC que tiene como estructura base el anillo bencénico. Están formados por anillos condensados. Los PAH's que más comúnmente nos vamos a encontrar como contaminantes son:

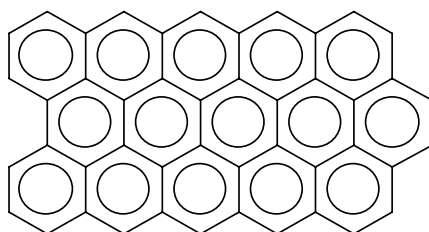


El naftaleno se usa para ahuyentar las polillas. La actividad de este tipo de compuestos se basa en su volatilidad. Ahora se usa el diclorobenceno en vez del naftaleno.

Estos contaminantes están asociados a la combustión incompleta del carbón, de la madera, ... En todos los procesos de combustión de residuos animales se generan estos HC (plumas de pollo, grasas, etc.). También en procesos de incineración de residuos plásticos, tipo polietileno, se forman PAH's.

El grafito es el PAH's por excelencia. En su periferia solo hay H lo que provoca que sea una especie muy absorbente de moléculas orgánicas y se usa con ese fin. Los filtros de grafito se utilizan para retener contaminantes orgánicos y para potabilizar el agua.

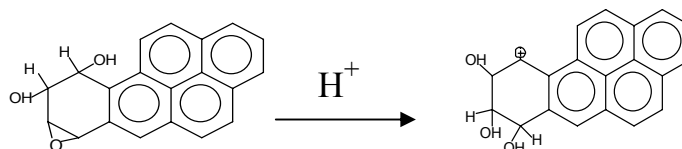
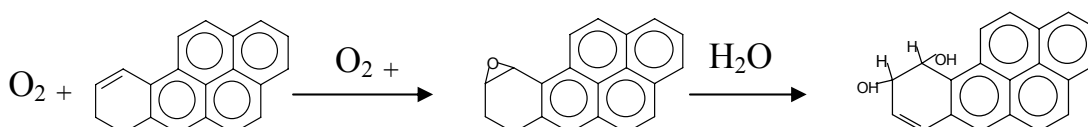
Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica



GRAFITO

Los PAH's con menos de 4 anillos son los más problemáticos, porque se presentan en la atmósfera en forma gaseosa (son muy volátiles). Cuando tienen más de 4 anillos pueden estar en fase líquida o en fase sólida. Para emitirse a la atmósfera, o se absorben en moléculas de hollín (carbón activo) o se dispersan en forma de aerosoles.

Se les asocia a procesos cancerígenos por su interacción con el cuerpo humano. Una de las especies oxidantes presentes en el aire es el oxígeno singlete (estado oxidado del O_2) y esta especie se adiciona fácilmente a un doble enlace dando lugar a un epóxido. El epóxido es muy inestable y en presencia de moléculas de agua se abre formando un diol. Este diol formará un epóxido de nuevo en presencia de oxígeno singlete, que en medio ácido da lugar a un catión estable. Estos cationes pueden incorporarse a una molécula de ADN e inducir mutaciones en la molécula.



Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

Las actividades que fundamentalmente emiten PAH's son:

- Los gases de escape de los motores de combustión de gasolina, y especialmente los de motor diesel, que emiten PAH's con grupos nitro (nitropireno y dinitropireno), ambos altamente cancerígenos.
- Alquitrán del humo de los cigarrillos.
- Vertidos de las industrias papeleras.
- La superficie quemada de los alimentos.
- Humo procedente de la combustión de la madera y el carbón (procesos de combustión donde el carbono no es transformado totalmente en CO y CO_2). Se da la polimerización de fragmentos de HC, sobre todo cuando hay deficiencia de O_2 .

Los problemas que generan son:

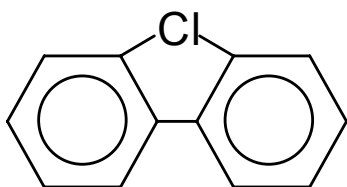
- Mutaciones en el ADN.
- Malformaciones en los embriones de la embarazadas.
- Problemas de fertilidad.

Para evitar las emisiones, lo mejor es utilizar filtros (carbón activo, zeolitas, etc.).

PCB's (Bifenilos policlorados)

Hacen referencia a un grupo de compuestos químicos policlorados de naturaleza orgánica muy utilizados en la industria; y debido a la mala gestión de los residuos que contienen PCB's, es lo que ha dado lugar al problema medio ambiental.

Su estructura base es:



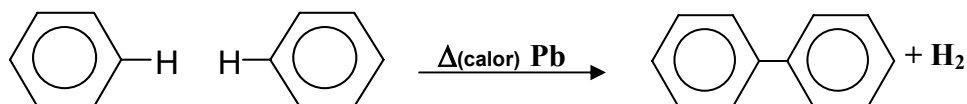
Llevan sustituidos **H** por **Cl**.

No son bencenos condensados.

Se caracterizan por su persistencia en el medio ambiente, son muy estables a temperaturas moderadas, y a la luz que reciben de la atmósfera (no sufren reacciones fotoquímicas). Son insolubles en agua pero muy solubles en materia orgánica y medios lipófilos; por eso se les considera bioacumulativos, se acumulan en los tejidos grasos de animales y plantas.

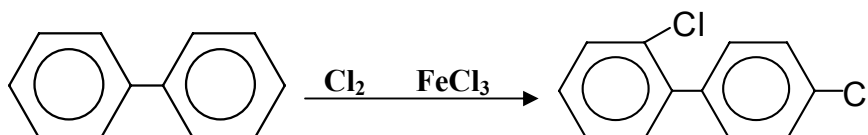
Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

A nivel industrial se sintetizan a partir del benceno, por calentamiento en presencia de un catalizador de **Pb**.



En las gasolinas y combustibles para motores diesel, cuando se usa como antidetonante el **Pb**, se forman bifenilos, que son emitidos directamente a la atmósfera.

Los que poseen mejores propiedades industriales son los bifenilos policlorados, que se forman a partir de un bifenilo, clorados con Cl_2 (g) en presencia de un catalizador de Fe^{+3} , como FeCl_3 . Cuanto más cloro esté inicialmente presente y cuanto mayor sea el tiempo de reacción, mayor es la extensión (en promedio) de la cloración de la molécula bifenilo.



Así se forma una familia de PCB's, que tienen como fórmula empírica $\text{C}_{12}\text{H}_{10-M}\text{Cl}_M$ ($1 < M < 10$). Con este proceso se forma una familia de PCB's que llegan a tener hasta 209 congéneres (isómeros).

Comercialmente, se tienen mezclas donde el contenido en cloro es de 21-61 % de peso. Estos compuestos se caracterizan fundamentalmente por ser hidrófobos y bioacumulativos.

En la industria interesan porque se comportan como líquidos inertes, con lo que son muy difíciles de quemar. Tienen presiones de vapor bajas y son muy baratos de producir. Son buenos aislantes eléctricos, tienen una capacidad calorífica alta, por lo que se usan como fluidos de refrigeración. También se utilizan como plastificantes o para mantener flexibles a otros materiales y de impermeabilizante en la construcción. Se utilizan como fluidos hidráulicos, como disolventes en la industria papelera destinada al reciclaje de papel (disolvente de las tintas de la pasta de papel).

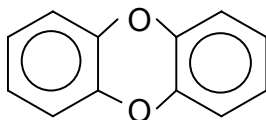
Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

El problema de estos compuestos es que durante mucho tiempo han sido utilizados en sistemas abiertos y sus restos han estado muy mal gestionados; por eso se les considera uno de los contaminantes más comunes en el medio ambiente. Ahora sólo se permite su uso en sistemas cerrados.

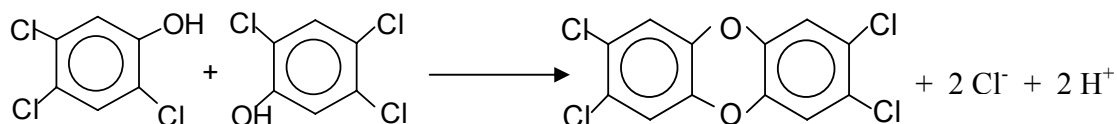
En general, los PCB's son muy tóxicos en seres humanos. A efecto inmediato, la reacción más común a la exposición es el cloracné. Son bioacumulativos y contienen cloro, así que pueden acumularse en el hígado causando problemas de cirrosis a largo plazo. También tiene efectos cancerígenos.

Dioxinas:

La estructura básica es:



Se produce en los procesos de condensación térmica de los fenoles como el el triclofenol (muy utilizado como insecticida) cuya condensación produce la dioxina tetraclorada.



Si los pollos comen productos que han sido tratados con insecticidas, la dioxina tetraclorada puede acumularse en sus tejidos grasos. También se producen dioxinas por la fumigación de productos de forma descontrolada.

Las dioxinas se producen en la síntesis de herbicidas y pesticidas, como el 2,4-diclorofenol o el 2,4,5-triclorofenol; como también en la combustión de la madera tratada con pentaclorofenol.

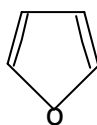
En las plantas incineradoras de basura, de residuos animales, industrias del papel y en general, siempre que se quemen compuestos que contengan anillos bencénicos clorados en su estructura, se formarán dioxinas.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

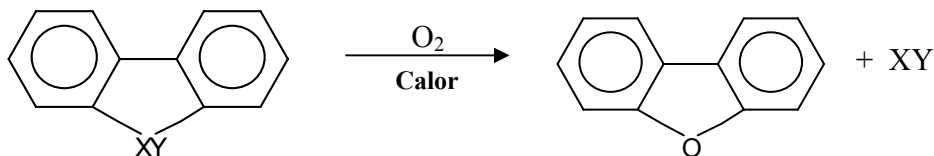
A las dioxinas se les atribuye un efecto cancerígeno y producen malformaciones en el feto. Son mutagénicos y cancerígenos, con una muestra de 85 g son suficientes para matar a toda la población de Nueva York.

Furanos:

Se suelen formar simultáneamente a las dioxinas; y estructuralmente son similares a las dioxinas. Tienen como característica principal en su estructura un anillo de 5 eslabones en un heterociclo.



Los más tóxicos son los dibenzofuranos, que provienen del calentamiento de los PCB's. Por calentamiento en presencia de O_2 de PCB's clorados se forman los furanos. Suelen aparecer también sustituidos los anillos aromáticos con halógenos, lo que potencia su impacto tóxico sobre los seres vivos.



Tanto las dioxinas como los dibenzofuranos no se sintetizan a nivel industrial porque no son de utilidad. Únicamente se sintetizan en pequeñas cantidades por motivos de investigación.

Los dibenzofuranos se forman a través de los siguientes procesos:

- Fabricación de algunos pesticidas.
- Uso de desinfectantes en la pasta de papel.
- Combustión de gasolinas con plomo a temperaturas bajas.
- Quema de plásticos y de madera.
- Incineradores de residuos de origen animal.
- Refinado de metales, siempre que se usen disolventes orgánicos.
- Producción de disolventes comunes como el tricloroetano o percloroetileno.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

Compuestos organohalogenados:

Estos compuestos hacen referencia a una familia de sustratos donde los átomos de H han sido sustituidos por **F**, **Cl** o **Br**. El sustrato orgánico puede ser saturado (haluros de alquilo), insaturados (haluros de arquénilos) o aromático (haluros de arilo).

Haluros de Alquilo.

Clorometano. Se utiliza fundamentalmente en la fabricación de siliconas. Dentro de los organoclorados es el que menos composición de cloro contiene. El problema es su gran volatilidad ($P_{eb} = 24\text{ °C}$).

Diclorometano. Es un disolvente cuyo uso está muy extendido. Tiene mayor contenido de cloro que el clorometano y un punto de ebullición de $P_{eb} = 40\text{ °C}$. Sigue siendo muy volátil a temperatura ambiente, y su uso está muy extendido en todos los procesos de extracción en la industria alimentaria, pinturas, etc. Es muy buen disolvente de moléculas orgánicas y el problema está en la mala gestión de sus residuos.

Diclorodifluorometano (Freón 1-2). Tiene $P_{eb} = 29\text{ °C}$. Es uno de los freones más utilizados en refrigeración. También es muy usado en la industria porque es muy buen disolvente en los procesos de análisis de grasas en las aguas residuales. A la industria le interesan estos compuestos tan volátiles porque luego se eliminan fácilmente.

S-tricloetano (1,1,1-tricloetano = metilcloroformo). Tiene un $P_{eb} = 74\text{ °C}$ y también es muy utilizado en la industria. Se usa como disolvente en pinturas que luego se evaporan al aire cuando se secan las pinturas.

Derivados de los alquenos.

Monocloroetileno (cloruro de vinilo). Se utiliza fundamentalmente para la fabricación de cloruro de polivinilo. Es muy volátil y muy inflamable. Para saber cuánto es de inflamable un organoclorado hay que fijarse en el número de hidrógenos sin sustituir que contiene la molécula, cuanto mayor número de hidrógenos sin sustituir, más inflamable es el compuesto. Tiene un olor dulzón. Se cree que provoca cáncer de hígado. Disuelve muy bien las moléculas orgánicas y es bioacumulativo en tejidos grasos y partes blandas como el hígado (provocando cirrosis).

Tricloroetileno. Líquido muy volátil pero menos inflamable que el monocloroetileno. Excelente desengrasante, por lo que se utiliza en la limpieza en seco, y para extraer productos naturales de

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

los alimentos (el café se somete al TCE para extraer la cafeína y obtener café descafeinado). El problema de la gestión de todos estos compuestos es que son más densos que el agua y se acumulan en el fondo de los acuíferos.

Percloroetileno. Este compuesto no es inflamable. Es muy buen disolvente para limpieza en seco, para pinturas, etc. Para deshacernos de ellos utilizamos un proceso de evaporación directa al aire. En Europa, los niveles permitidos eran de 32 mg/l en el agua, sin embargo en Canadá y EE.UU. está en 0'05 mg/l.

Haluros de Arilo.

Se utilizan fundamentalmente en síntesis de pesticidas, los más comunes son el clorobenceno y los cloruros de bencilo. Estos últimos se utilizan como precursores de radiaciones orgánicas. Son perjudiciales porque dan lugar a especies radicalarias.

Clorofluorocarbonos (CFC's):

Son muy utilizados porque a corto plazo son compuestos inocuos, no son inflamables y no son reactivos. En la parte baja de la troposfera estos compuestos se pueden manipular sin ningún peligro. Si son muy volátiles, o se usan como aerosoles, se van acumulando en los tejidos y acaban produciendo cáncer de hígado. A ellos se les atribuye la disminución del espesor de la capa de ozono porque participan en el ciclo de destrucción del ozono. No son productos naturales, sino de diseño producidos con fines industriales.

Están compuestos por átomos de **C**, **Cl** y **F**. Debido a sus propiedades son emitidos a la atmósfera pulverizados en forma de aerosoles, porque han sido utilizados ampliamente como gases propelentes de líquidos. También se han utilizado como espumas plásticas, refrigerantes, etc. Son utilizados como refrigerantes porque tienen una entalpía de vaporización elevada, y cuando condensan liberan mucho calor. Esta alta entalpía de vaporización se debe a que la interacción entre moléculas provocan momentos dipolares grandes con lo que aumenta la fuerza de atracción electrostática entre ellas. También se han utilizado como gases propelentes contra incendios, debido a que no son combustibles. En la industria de la microelectrónica se usan para limpiar los circuitos.

Los más comunes son:

Freón 11: CFCl_3

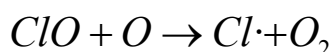
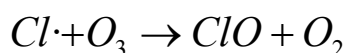
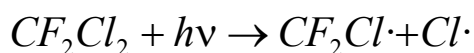
Freón 12: CF_2Cl_2

Freón 113: $\text{CF}_2\text{Cl-CF}_2\text{Cl}$

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

Estos tres compuestos contribuyen en un 80% a la destrucción de la capa de ozono. No poseen hidrógeno en su estructura por lo que son muy estables. Se van desplazando por la troposfera, y en 100-150 años, alcanzan la estratosfera.

Cuando llegan a una altitud de unos 40 km., sufren reacciones fotoquímicas, pues se encuentran con radiaciones comprendidas entre 180-210 nm. En ese intervalo de λ , las sustancias presentan un máximo de absorción. Cuando absorben esa energía, tiene lugar una ruptura homolítica de un enlace **C-Cl** para dar lugar a dos radicales. El radical **Cl·** reacciona con el ozono para dar **ClO** y **O₂**, y el **ClO** interacciona con el oxígeno para dar lugar a **Cl·** y **O₂**.



En estos procesos se recupera el radical **Cl·**, que vuelve a comenzar el ciclo destruyendo una nueva molécula de ozono. Por eso estas moléculas son capaces de destruir 100.000 moléculas de ozono antes de reaccionar con un hidrógeno y formar una molécula de **HCl**, que desaparecería pasando a la troposfera y cae a la tierra como lluvia ácida.

Para solucionar este problema se sintetizan moléculas con propiedades similares, pero que no absorben este tipo de radiaciones; empezaron a sintetizarse hidrofluorocarbonos. Estos compuestos se caracterizan porque no presentan absorbancias tan altas en esa zona del espectro, es decir, que desplazan su máxima de absorción hacia longitudes de onda más corta y ya no coincide con la zona de la ozonfera, donde pueden formarse otros radicales. Estos nuevos compuestos son fácilmente oxidables por los radicales **OH** de la atmósfera. Tienen más hidrógeno en su estructura con lo que, el radical **OH** captura los hidrógenos para formar moléculas de agua (se sintetizan moléculas fotodegradables en la troposfera por la acción de radicales **OH**). Pero al haber más hidrógeno en la estructura, las moléculas serán más inflamables; luego hay que buscar un punto de equilibrio entre oxidabilidad e inflamabilidad (lo menos inflamable posible, pero lo más oxidable posible).

Los más utilizados son:



Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

Nomenclatura de los CFC's:

Primer dígito: n° de dobles enlaces que contiene la molécula.

Segundo dígito: n° de átomos de **C** que contiene la molécula **-1**.

Tercer dígito: n° de átomos de **H** que contiene la molécula **+1**.

Cuarto dígito: n° de átomos de **F** que contiene la molécula.

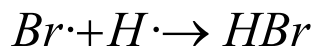
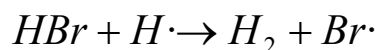
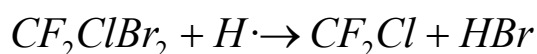
Halones:

B: indica que la molécula contiene **Br**.

Quinto dígito: n° de átomos de **Br** que contiene la molécula.

Halones.

Es otra familia de organoclorados que se caracteriza por tener **Br** en su estructura (también puede contener **I**), y por radiación ultravioleta puede generar radicales **Br·**. Se encuentran en menor proporción que los CFC's y su uso como extintor de incendios ha estado muy extendido, pues inhiben la combustión al capturar los radicales **H·** que se generan térmicamente. La radiación que tiene lugar es la siguiente:



A su vez, el bromhídrico vuelve a capturar radicales **H·** y genera de nuevo un radical **Br·**, que captura más radicales **H·** de las moléculas orgánicas. Tiene lugar un proceso en cadena que tiene como consecuencia eliminar los átomos de hidrógeno de los compuestos orgánicos. Los más comunes son:

Halón 1211: CBrClF₂

Halón 1301: CF₃Br

Halón 2402: C₂Br₂F₄

Los halones se usan cada vez menos, incluso los hidrofluoroclorocarbonos, pues están penalizados en sistemas abiertos. En sistemas cerrados, se utilizan en sistemas de refrigeración, pero si hay fugas se escapan al aire.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

Compuestos organosulfurados:

Huelen muy mal y muchos de ellos tienen un origen natural en la fermentación anaerobia de la materia orgánica, tanto animal como vegetal. Estos compuestos también se producen en el refinado de petróleo. Estas sustancias acaban oxidándose, dando lugar a SO_2 , SO_3 y H_2SO_4 .

Los que tienen más repercusión son los mercaptanos (**R-SH**) y los tioéteres (**R-S-R**):

Mercaptanos:

- Metanotiol (**CH₃SH**). Se usa para detectar las fugas de gas natural.
- 2-propeno,1-tiol. Alil-mercaptano (**CH₂=CH-CH₂-SH**). Es el característico olor a ajo, es tóxico e irritante.
- Fenilmercaptano.

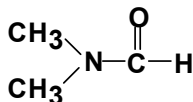
Tioéteres:

- Dimetiltioéter. Es un compuesto muy volátil con $P_{\text{eb}} = 38 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Tiofeno. Es una molécula muy estable al calor, tiene un $P_{\text{eb}} = 84 \text{ }^\circ\text{C}$. Es muy buen disolvente, se utiliza en laboratorios de investigación como sustituyente del benceno. También se usa en la industria farmacéutica y como disolvente en tintas y resinas.

Compuestos organonitrogenados:

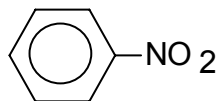
Son compuestos en forma de amidas, aminas, nitrocompuestos, nitrilos y heterociclos nitrogenados. Como contaminantes fundamentales encontramos:

- Metilamina: **CH₃-NH₂**
- Dimetilformamida: Muy buen disolvente.

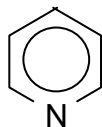


Muchos de ellos se usan en procesos de polimerización como el acrilonitrilo (**H₂C=CH-C≡N**) y el acetonitrilo (**CH₃-C≡N**). Los compuestos nitrogenados que nos preocupan por su alto nivel cancerígeno son:

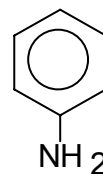
Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica



Nitrobenceno



Piridina



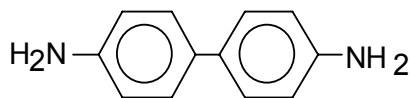
Anilina

Aminas.

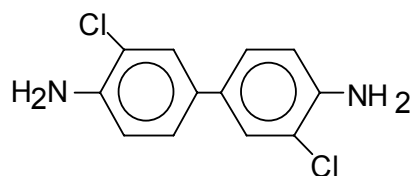
Las aminas de peso molecular bajo suelen ser volátiles y tienen un olor repulsivo parecido al del pescado podrido. Una amina muy importante es la anilina, pues se usa mucho en la industria y tiene efectos cancerígenos como hemos visto antes. Se usa para la fabricación de tintes, colorantes, amidas, productos de fotografía, en la industria farmacéutica, como disolvente, en la fabricación de polímeros (poliamidas) y en muchos procesos ácido-base que tienen lugar en el aire.

Las aminas se forman como consecuencia de la fermentación anaerobia de las proteínas. Estas aminas aromáticas son las causantes de los cánceres de intestino.

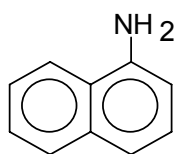
Algunas aminas altamente tóxicas son:



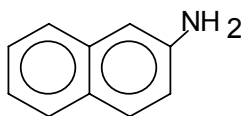
Bencidina



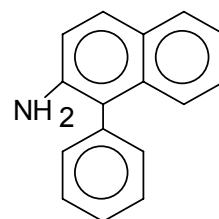
3,3-clorobencidina



1-Naftilamina



2-Naftilamina



1-fenil,2-naftilamina

Estos compuestos aparecen en los procesos de combustión sin O_2 y en procesos de polimerización.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

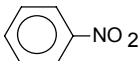
Nitrilos.

Son compuestos orgánicos que contienen un grupo $\text{N}\equiv\text{C}$ en su estructura. Fundamentalmente, los nitrilos más comunes como contaminantes son:

- Acrilonitrilo ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}\equiv\text{N}$). Monómero para fabricar poliacrilonitrilos.
- Acetonitrilo ($\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{N}$). Es un buen disolvente en la industria de la química orgánica.

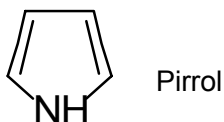
Nitrocompuestos.

Su estructura es $\text{R}-\text{NO}_2$. Como contaminantes encontramos:

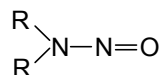
- Nitrometano (CH_3-NO_2)
- Nitroetano ($\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{NO}_2$).
- Nitrobenceno 

El nitrobenceno es altamente cancerígeno y se usa en síntesis orgánica como reactivo primario. Toda la familia de nitratos de peroxialquilo y nitratos de peroxiacilo son los compuestos de una atmósfera contaminada por smog fotoquímico.

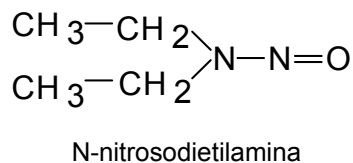
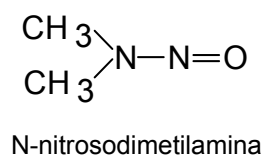
Otro compuesto de nitrógeno muy contaminante es el pirrol, que se emite durante la combustión de la vegetación (en incendios) en forma de aerosol.



Nitrosaminas.

Son unos contaminantes que nos llegan por vía alimentaria cuya estructura base es 

Los más importantes son:



Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

Llegan al cuerpo a través de las carnes en forma de embutidos (chorizo, jamón, etc.). Hay un conservante de la carne que es el nitrito sódico (jamonina), que inhibe la putrefacción de la carne.

En presencia de las aminas, se forman nitrosaminas (en la carne hay grupos amino), y estas especies son altamente cancerígenas. La formación de estos compuestos está favorecida en medios reductores, y en seres vivos cuya alimentación está basada en la leche (lactantes). Por eso, en las aguas contaminadas con nitratos en un medio reductor se forman nitritos, y éstos, en presencia de aminas pasan a nitrosaminas.

Pesticidas:

La causa de la contaminación por pesticidas es el incremento de la población mundial, sobretodo en los países subdesarrollados, y el aumento de la calidad de vida en países desarrollados. La necesidad de producir más y con mejor aspecto ha provocado el uso masivo de pesticidas, insecticidas, herbicidas, fungicidas, etc.

Estos productos son solubles en la parte orgánica de los alimentos y acaban acumulándose en ellos, y cuando nosotros comemos vegetales tratados, los pesticidas pasan a formar parte de nuestros tejidos grasos.

Las características principales de los pesticidas son:

- Son sustancias que pueden matar directamente a los organismos no deseados, o controlar su reproducción.
- Tienen una propiedad que consiste en bloquear los procesos metabólicos vitales de los seres vivos.

Los tipos de pesticidas que se pueden encontrar en el mercado son acaricidas, alguicidas, avicidas, bactericidas, fungicidas, herbicidas, desinfectantes, insecticidas, larvicidas, molusquicidas, nematicidas, piscicidas, raticidas, etc.

Insecticidas.

Los primeros insecticidas que se utilizaron, tenían como objetivo preservar de enfermedades a los hombres. Lo que se hacía era quemar azufre produciendo SO_2 . Esto se ha seguido haciendo hasta el siglo XIX. En las iglesias, las velas contenían azufre para desintoxicar a los feligreses. Pero el

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

SO_2 se oxida a SO_3 y éste a sulfato; y este sulfato sustituye al carbonato de calcio, que es la base de las rocas que se utilizaban para la construcción de edificios como las iglesias y que se ven deterioradas por este hecho ya que el sulfato es soluble y desgasta la piedra.

Para las plantas, se usaba cianuro de hidrógeno, sobretodo para las frutales. Pero el ácido cianhídrico es muy tóxico y forma cianohemoglobina, que provoca la muerte por asfixia. El cianuro fue sustituido por fluoruro sódico y se usó también para controlar las poblaciones de hormigas. Más adelante se usaron aceites y grasas de ciertos animales, como el aceite de ballena, pulverizados en forma de aerosoles. Esta técnica era eficaz para acabar con los huevos de los insectos.

Cuando la agricultura estaba más extendida, se usaban compuestos de arsénico. Uno de los más comunes era "verde París" (arsenito de cobre). Más adelante se utilizaron metales pesados tóxicos y semimetales para fumigar los campos. Estos insecticidas inorgánicos tenían varios problemas, como era su persistencia; al ser tan solubles en agua, cuando llovía eran arrastrados por el agua de lluvia y terminaban acumulándose en los acuíferos. Esa agua se utilizaba para el consumo humano, por lo que estos metales y semimetales, que son bioacumulativos, acababan en los tejidos blandos de los seres humanos. Los metales pesados se utilizaban en forma de complejos organometálicos. A partir de los años 50 se empezaron a fabricar insecticidas orgánicos que no tienen ese problema de la persistencia y se abandonó el uso de metales pesados como fumigantes.

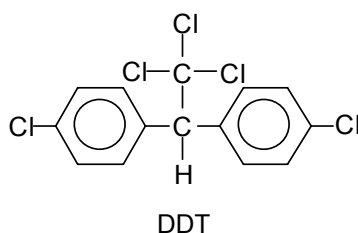
Organoclorados.

Son los primeros que se sintetizaron. Estos compuestos son muy persistentes. Una de sus propiedades es que son muy poco solubles en agua, con lo que no son arrastrados por el agua de lluvia. Sin embargo, son muy solubles en medios orgánicos como la materia grasa de los organismos vivos. A corto plazo, presentan una alta toxicidad para los insectos, y una baja toxicidad para los humanos, pero la sustancias se acumulan en el hígado y a largo plazo provocan cirrosis.

El primer insecticida que se diseñó fue el hexaclorobenceno. Es un compuesto muy estable, y se prepara muy fácilmente clorando el benceno. Es muy barato, y durante varias décadas se utilizó como insecticida en los cultivos de cereales. Es muy persistente y todavía hoy se encuentra en concentraciones altas en el medio ambiente; sobretodo se encuentra acumulado en los acuíferos y debido a su solubilidad en materia grasa forma parte del plancton entrando así en la cadena alimentaria.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

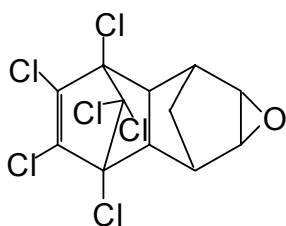
Después del hexaclorobenceno, el segundo insecticida importante fue el DDT (diclorodifeniltricloroetano). El DDT inhibe la formación de la malaria, es muy efectivo contra la mosca que transmitía la fiebre amarilla, contra los piojos que transmitían el tifus y contra insectos que provocaban plagas. A corto plazo parecía inocuo para los seres humanos, pero su uso fue tan indiscriminado, que al ser bioacumulativo, acababa produciendo efectos cancerígenos. Es muy difícil deshacerse del DDT porque es muy poco reactivo y muy persistente.



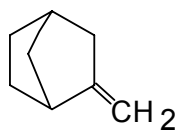
Se siguen utilizando otros insecticidas organoclorados como el camphene. Por cloración del camphene se forma una mezcla de compuestos organoclorados que se vende industrialmente como toxaphene.

También se usaba como insecticida a una familia de ciclopentadienos clorados; uno de los más eficaces es el perclorociclopentadieno.

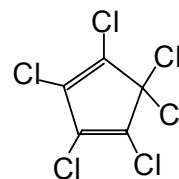
Todavía se vende mucho la familia de insecticidas derivados del aldrín, elendrosulfán, dieldrín, endosulfán, clordrane, etc. Estos insecticidas, que son muy usados para tratar el suelo, tienen estructuras similares. Son insecticidas muy eficaces, poco solubles en agua, y al ser tan persistentes son bioacumulativos y acaban formando parte de la cadena alimentaria.



Dieldrín



Camphene



Perclorociclopentadieno

Organofosforados.

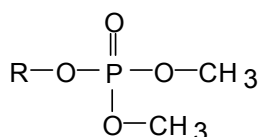
No son tan persistentes como los compuestos organoclorados, pero sí son más tóxicos para los humanos y para otros seres vivos. También se acumulan en los tejidos grasos de los seres vivos. Se absorben más fácilmente en los insectos, y una vez en ellos, el azufre se sustituye por el

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

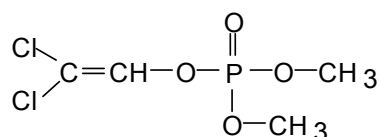
oxígeno en presencia de moléculas de agua empezando así el ataque al organismo del insecto. Este ataque consiste en la parálisis del sistema nervioso del insecto, paralizando la transmisión de los impulsos nerviosos desde el sistema central a las células, destruyendo la acetil-colina (enzima encargada de transmitir los impulsos nerviosos). Provoca la muerte de los seres vivos.

Hay tres familias de organofosforados:

- Fosfonatos. Se caracterizan por tener un doble enlace **P=O**. Son muy tóxicos y tienen poca capacidad de penetración por vía cutánea. El más representativo es el diclorvos

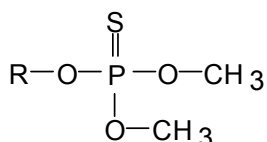


Estructura base

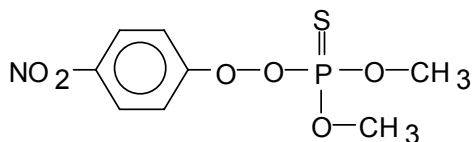


Diclorvos

- Fosfortioatos. Se caracterizan porque en el doble enlace en vez de oxígeno hay un átomo de azufre. El prototipo de este grupo es el paratión (retirado del mercado). El que se comercializa ahora es el metil-paratión.

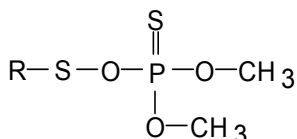


Estructura base

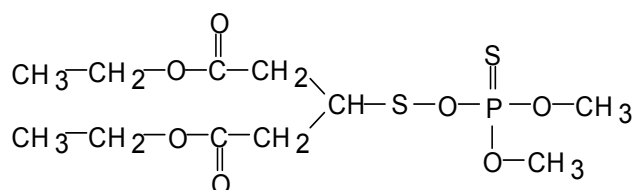


Metil-paratión

- Fosforoditioatos. Tienen dos átomos de azufre en su estructura. Se absorben mejor en los insectos.



Estructura base

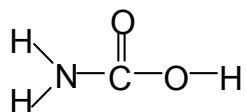


Malatión

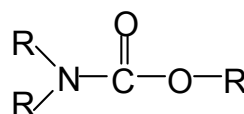
Carbamatos.

No son tan tóxicos para los seres vivos. Son derivados del ácido carbámico, ésteres donde los hidrógenos están sustituidos.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica



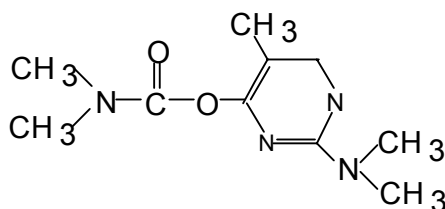
Ácido Carbámico



Carbamato

Actúan de la misma manera que los organofosforados inhibiendo la acción de la acetil-colina. Son menos persistentes, se hidrolizan en medios acuosos y se descomponen fácilmente. Los carbamatos, cuando se descomponen por hidrólisis dan productos inocuos. La agricultura extensiva que se lleva a cabo provocando el uso intensivo de insecticidas.

El pirimicarb y el aldicarb los podemos encontrar fácilmente en los comercios.

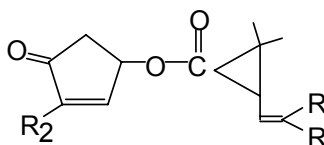


Pirimicarb

Productos naturales.

Se empezaron a diseñar insecticidas similares a los productos naturales como las piretrinas, rotenonas, feromonas y las hormonas juveniles de los insectos, pues son más inocuos.

- Piretrinas. Son productos naturales que se obtienen de un tipo de crisantemos; presenta carbonos pirales en su estructura. Todos poseen una estructura de ciclopropano.

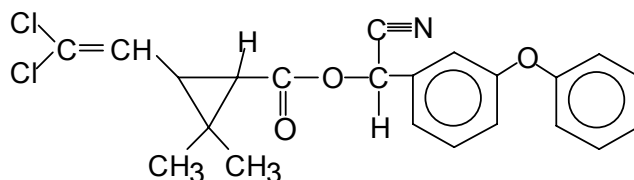


Actualmente se venden para tratar las pulgas de los animales, piojos, etc. Son los más inocuos para los seres humanos y los animales. Estas piretrinas naturales son muy inestables y tienen muy poca duración, por eso se diseñaron piretrinas sintéticas que

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

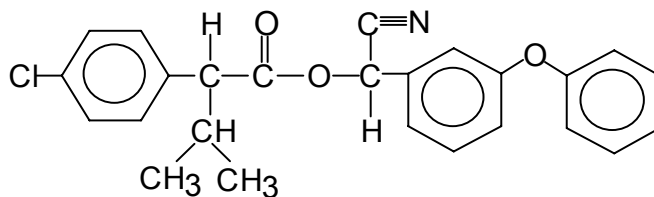
fueran más estables. Al ser más estables pueden utilizarse en el tratamiento de las cosechas.

Comercialmente nos encontramos con el permetrín, que contiene cloro, por lo que ya no es tan inocuo.



Son compuestos con actividad óptica. Tiene una toxicidad muy baja. Su L_{A50} es de 2000-4000 mg/kg (cuanto más alto es este valor, más tóxico es el compuesto).

Otra piretrina mimética es el fenvalerato. No posee ciclopropano, lo que le confiere mayor estabilidad. El esfenvalerato es su isómero óptico.



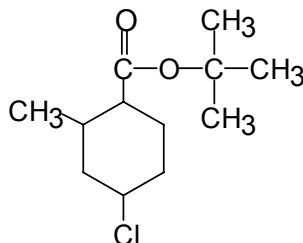
Todas las piretrinas simulan a los insecticidas naturales y son menos tóxicas y más estables.

- Feromonas (insecticidas naturales de insectos). Son sustancias capaces de controlar las plagas (no las matan). Los insectos emiten una serie de sustancias entre ellos; unas atrayentes (hormonas sexuales) y otras para prevenir al resto de insectos de algún peligro.

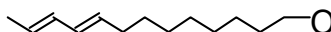
Las más utilizadas son las hormonas femeninas que emiten las hembras para atraer a los machos en la época del apareamiento. Estas hormonas no tienen una toxicidad alta, pero despistan a los insectos, que acaban siendo incapaces de distinguir un macho de una hembra de forma que el apareamiento queda inhibido.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

Una de las hormonas más comunes es la *ceratitis capilata*, que es la que controla la plaga de la mosca de la naranja:



Otra hormona que se utiliza para controlar la mosca de la manzana es la *carpocapsa pomonela*:



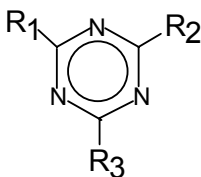
Son hormonas sexuales femeninas utilizadas para boicotear el apareamiento en la época de reproducción. Son más aceptadas ecológicamente.

Herbicidas.

Se utilizan moléculas orgánicas en vez de las inorgánicas porque son más estables. Antiguamente se utilizaba el arsenito sódico, y como fungicidas para los olivos se usaba el sulfato de cobre (que todavía se utiliza). Estas sustancias no interesan porque son muy solubles en agua y cuando llueve las arrastra hasta los acuíferos.

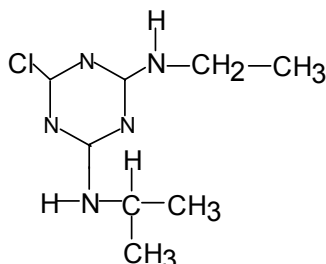
Se diseñaron moléculas orgánicas con el objetivo de que fueran más persistentes. Estas moléculas son absorbidas por la planta e inhiben la función clorofílica. Como los insecticidas orgánicos son de diseño, suelen ser más específicos que los inorgánicos.

La primera familia de herbicidas orgánicos desarrollada fue la de las triazinas. Todas tienen en su estructura el heterociclo:



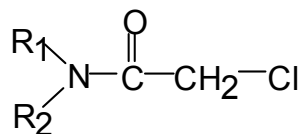
Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

Donde R_1 suele ser un átomo de cloro y R_2 y R_3 son grupos amino. La más utilizada es la atracina:



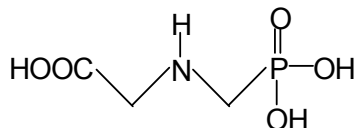
Esta molécula bloquea la fotosíntesis en ciertas plantas. Se utilizaba para eliminar las malas hierbas de los campos de maíz y de soja, pero de tanto usarla las hierbas acabaron siendo resistentes a ella. Como la usaban masivamente y es muy soluble en el agua, durante los riegos o las lluvias se iba acumulando en los sistemas acuáticos próximos a los campos de cultivo, y allí se inhibía la fotosíntesis de las plantas acuáticas. Todavía se utiliza en los circuitos de refrigeración para inhibir la formación de algas. Es una sustancia bastante tóxica, tiene un L_{oA50} de 1'870 mg/kg.

Cuando estas sustancias fueron inocuas a las malas hierbas, se empezó a diseñar otros herbicidas, obteniéndose la familia de las cloroacetamidas (amidas derivadas del ácido cloroacético):



En EE.UU., el herbicida más utilizado de esta familia es el alaclor. Es muy cancerígeno para los animales, con lo que debe ser gestionado correctamente.

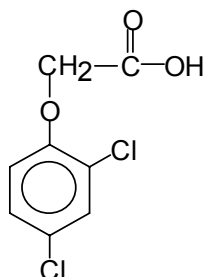
Otro herbicida muy importante es el glifonato. Es un fosfonato cuya estructura es parecida a los organofosforados:



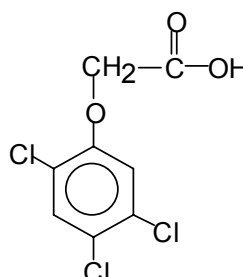
Es inocuo, su L_{A50} es bastante alto. Está siendo muy utilizado en las plantaciones de soja y de maíz. Para que estas plantas no sean atacadas por el herbicida, se tratan genéticamente para que sean resistentes a los productos biosanitarios.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

Herbicidas fenoxi. Hay dos que son muy utilizados:



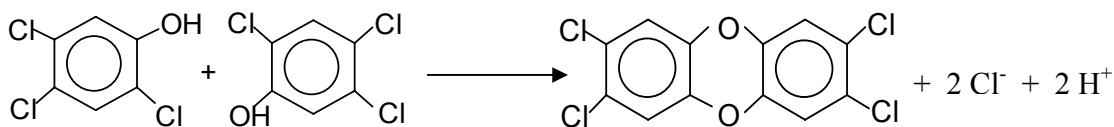
2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D)



2,4,5-triclorofenoxiacético(2,4,5-T)

Son muy persistentes y muy solubles en agua, por lo que terminan depositándose en los acuíferos. Se utilizan mucho más en prácticas agrícolas, pero al ser organoclorados son tóxicos para la salud humana.

Un problema de las empresas que sintetizan herbicidas es la formación de dioxinas organocloradas, que se expulsan en forma de humos y que deben ser controladas:



TOXICOLOGÍA:

L_{A50} , L_{OA50} : son las llamadas “dosis letales” y representan la cantidad de sustancia necesaria para matar a la mitad de una población de estudio por kg. de peso de individuo. Hacen referencia a la manera de absorber la sustancia, que puede ser por vía dérmica (L_{A50}), caracterizada por ser rápida y a través de la piel, o por vía oral si se trata de un aerosol o ingiriéndola (L_{OA50}).

Cuanto mayor es el valor de estas dosis letales, menor es la toxicidad de la sustancia ya que representa una mayor cantidad de sustancia para matar a la mitad de la población.

Además de estos dos parámetros, hay otro que nos da a conocer la capacidad de acumulación o bioacumulación que tienen las sustancias. Este parámetro es el coeficiente de reparto (K_w) del que se suele representar su logaritmo decimal:

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

$$\log K_w = \log \left[\frac{[\text{solubilidad de la sustancia}]_{\text{octanol}}}{[\text{solubilidad de la sustancia}]_{\text{agua}}} \right]$$

Cuanto mayor es el coeficiente de reparto, la sustancia es más soluble en octanol (orgánico) que en agua (inorgánico), con lo que se deduce que es más bioacumulativo ya que se acumula en los tejidos grasos (orgánicos). En vez de K_w se puede dar la solubilidad de la sustancia en agua expresada en ppm.

En la siguiente tabla se expresan los diferentes valores de toxicidad de algunas de las sustancias estudiadas. De los datos de la tabla se puede averiguar qué sustancias son bioacumulativas (de menor valor de la solubilidad en agua), y qué sustancias se encontrarán en los acuíferos (de alta solubilidad en agua).

Tabla de toxicidades de algunas sustancias.

SUSTANCIA	SOLUBILIDAD EN AGUA (ppm.)	L_{A50} (mg/kg)	$\log(K_w)$
Hexaclorobenceno	0'0062	3'5-10	5'3
DDT	0'0034	115	3'9-6'2
Toxaphene	-	85	2'9-3'3
Dieldrín	0'2	46	5'1-6'2
Malatión	145	1'375-2'8	2'7
Paratión	24	3'6-13	-
Atrazina	30	1'87-3'08	2'3
Azúcar	10000	-	-
Sal, Alcohol	1000	-	-
Ciacina, Codeína, Cafeína	-	100	-
Nicotina	-	1	-
Bacteria del tétanos Bacteria del botulismo Toxinas	-	10^{-51}	-

1.5.2. Contaminantes primarios menos frecuentes:**a) Metales tóxicos:**Mercurio (Hg).

Es un líquido a temperatura ambiente y tiene la propiedad de dilatarse uniformemente con la temperatura; esta propiedad se aprovechó para fabricar termómetros. También se usaba como fluido en manómetros y otros instrumentos para medir la presión. En estado vapor se utiliza en lámparas.

El mercurio mal gestionado termina en acuíferos, suelos y en el aire en forma de organometálico porque el Hg^{+2} da lugar a enlaces covalentes con el ion CH_3^- , que proviene del metano para formar monometilmercurio (CH_3Hg^+) y el dimetilmercurio $[(\text{CH}_3)_2\text{Hg}]$. También se puede formar CH_3HgBr ya que suelen ser corrientes las sales de bromo disueltas en el agua. Estos compuestos de mercurio son solubles en los tejidos orgánicos y se acumulan en las zonas grasas y blandas de los seres vivos como el cerebro y el sistema nervioso central provocando paralizaciones (parálisis); los vapores de mercurio también llegan a la corriente sanguínea a través de la respiración. Son utilizados como fungicidas (fenilmercurio) y sus sales son antisépticas y se incluyen en pinturas de látex para su conservación, en la fabricación de papel para almacenar alimentos, cosméticos, conservantes. Las pilas de botón contienen hasta 5 g de mercurio.

El reciclado de mercurio se basa en la volatilidad del mercurio. Se trituran los residuos y se evaporan, se condensan los vapores y se vuelven a destilar separando el mercurio más puro. La instalación debe estar dotada de filtros potentes para evitar los escapes de vapores de mercurio.

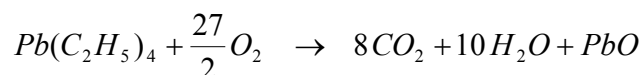
El mercurio es buen conductor de la electricidad y forma amalgamas muy fácilmente ya que su estado líquido facilita la formaciones de aleaciones. En los procesos electrolíticos en donde se va a obtener cloro gas en el ánodo y sodio metálico en el cátodo. El sodio se deposita formando una aleación con el mercurio líquido. Esta electrólisis se aplica a una disolución de cloruro sódico. El problema es separar el sodio del mercurio en el cátodo.

El mercurio es muy afín con el anión sulfuro y el bisulfuro, por esto se utiliza el azufre para rescatar emisiones de mercurio ($kps = 10-56$).

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

Plomo (Pb).

Fuentes de contaminación por plomo: Se usó para fabricar conductos de agua potable. Para aislar, para los tejados, en iluminación, en fabricación de vidrios. Casi todos estos usos eran con plomo sólido. El problema actual es que el plomo se usa como antidetonante para la gasolina (tetraetilplomo).



La mala gestión de las baterías de los coches es otra fuente importante de plomo ya que están compuestas de sulfato de plomo. Gases de escape **

El **PbO₂** se usa en la fabricación de vidrios, para vitrificar la cerámica se usa **PbO**. Para proteger el hierro de la oxidación se usa una pintura naranja que es una mezcla de óxidos de plomo **Pb₃O₄**.

Efecto sobre la salud.

La mayoría del plomo se encuentra en la sangre en bajas concentraciones y puede producir la enfermedad *saturnismo*, es decir, la inhibición de la síntesis de hemoglobina; es uno de los causantes de las anemias, cánceres de pulmón, de piel, de hígado, de vejiga y de riñón.. Cuando se satura, el plomo pasa a los tejidos blandos incluido el cerebro. El plomo se deposita en los huesos también sustituyendo al calcio. Una ingestión grande de plomo es muy perjudicial y puede causar la muerte a niños de hasta 7 años pues su cerebro se encuentra en crecimiento todavía.

Arsénico (As).

Metaloide. Su uso generalizado se debe a su carácter herbicida. El óxido arsénico III (**As₂O₃**) es la especie tóxica. Se usan arseniatos como pesticidas.

Se absorbe por los pulmones y desde el intestino. Provoca la coagulación de proteínas, pues forma enlaces covalentes y complejos con los enzimas, inhibiendo la síntesis de ATP (adenosintrifosfato) en los procesos esenciales del metabolismo.

Cadmio (Cd).

Es tóxico porque reacciona con los grupos sulfhidrilos de las enzimas. Próximo al zinc y al mercurio, luego los metales de zinc y mercurio contienen cadmio. Cuando se procede a la fundición de zinc, los residuos contienen cadmio y mercurio.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

El carbón contiene siempre trazas de metales pesados, así que cuando se quema carbón, se liberan metales pesados a la atmósfera. La combustión de carbón es la fuente principal de cadmio como contaminante. Los pigmentos colorantes de las pinturas contienen cadmio (amarillos y rojos brillantes), pero también los plásticos de estos colores así que cuando se quemaran se libera óxido de cadmio a la atmósfera. También contienen cadmio las baterías recargables (4-5 g) y su mala gestión es una acción contaminante. Forma compuestos muy estables, por lo que se utiliza como protector para otros metales (electrodeposición para evitar la corrosión).

Efecto sobre la salud:

La dosis letal de cadmio es aproximadamente 1 g.

Para dosis muy bajas el cuerpo humano tiene un elemento protector, la metalotioneína, proteína que capta el cadmio hasta que se satura.

Berilio (Be).

No es un metal pesado pero sí tiene una gran toxicidad. Se usa en EE.UU. (350 ton/año) por las industrias destinadas a la fabricación de instrumentación electrónica, industrias eléctricas, material espacial y componentes nucleares. Produce *Berilosis*, un tipo de fibrosis pulmonar y neumonía. También se aconseja no tocar, pues produce *granulosis* y úlceras en la piel.

b) Compuestos halogenados:

Dentro de este apartado entran también la mayoría de los CFC's. Son contaminantes el **F₂**, **Cl₂**, **Br₂**, **I₂** y sus derivados ácidos hidrácidos y algunos fluoruros gaseosos como el tetrafluoruro de silicio.

El grabado de cristal se lleva a cabo exponiéndolo a vapores de **Si** (con clorhídrico). En las industrias fertilizantes, los minerales de fósforo contienen flúor (fosfatos de flúor). En la obtención de **Al** por electrólisis de la mezcla bauxita-criolita, tras la reducción quedan compuestos fluorados. También se manejan compuestos halogenados en las acerías e industrias cerámicas.

El **Cl₂** es el más tóxico. Ataca a las mucosas y produce asfixia. El **F₂** es muy tóxico sobretodo para las plantas (la hierba muy verde fija flúor al suelo). Provoca *fluorosis* que consiste en la descalcificación de los huesos por medio de la sustitución del calcio de éstos por el flúor.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

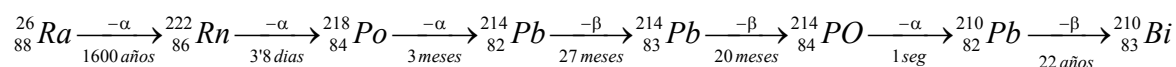
c) Sustancias radioactivas:

Algunos elementos tienen núcleos inestables (sustancias radioactivas). La radioactividad consiste en la desintegración de un núcleo de un elemento para transformarse en otro elemento más estable. Estas sustancias emiten radiaciones ionizantes que, cuando interactúan con los seres vivos, pueden provocar efectos nocivos.

Existen cuatro tipos de radiaciones ionizantes:

- Partículas α . Son núcleos de He formados por dos protones y dos neutrones. Tienen una carga bivalente y una masa de 4 u.m.a. Son las de menor poder ionizante y por tanto su capacidad de penetración es la menor, sólo atraviesa una hoja de papel. ${}^2_4\text{He}$
- Partículas β . Son radiaciones de e^- (carga -1 y masa de un e^-). Son capaces de atravesar espesores entre 1-2 cm. de tejido vivo.
- Partículas γ . Son las más energéticas. Son ondas electromagnéticas de alta frecuencia. Atraviesan todo excepto paredes muy gruesas de hormigón o de plomo.
- Neutrones. No tienen carga, por lo que son las radiaciones muy penetrantes. Penetran muy fácilmente hasta la estructura atómica provocando la división del átomo. En este proceso se forman nuevos átomos más pequeños, se desprende energía y se desprenden otros neutrones convirtiéndose en una reacción en cadena. Este es el fundamento de la energía que se obtiene en las centrales nucleares. La energía nuclear se transforma en energía eléctrica.

Serie radioactiva del Radio-Radón:

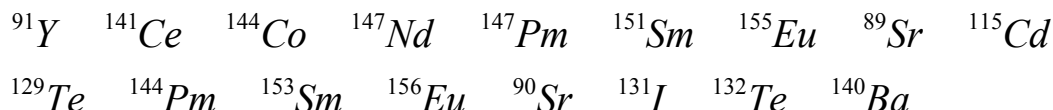


La contaminación radioactiva más común en el ambiente es la provocada por el radón. Se encuentra en los materiales utilizados en construcción (viviendas), en las aguas procedentes de pozos. Un medio de dispersión es el agua caliente de la ducha y los suelos de las viviendas (son un medio de almacenaje y de posterior emisión).

Exposiciones largas de **Rn** provocan cáncer de pulmón pues emite partículas α fundamentalmente. Cuando también hay emisiones de partículas β al chocar con las moléculas, rompen enlaces provocando reacciones radicalarias, que son el origen de procesos tumorales.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

Después de una detonación nuclear, la contaminación radioactiva tiene que ver con estos isótopos:



Como consecuencia de los rayos cósmicos que inciden (partículas γ) en la atmósfera, se producen reacciones que dan lugar a isótopos radioactivos:



En las emisiones de origen natural aparecen partículas radioactivas menos pesadas. El **K-90** y el **Rt-87** son minerales radioactivos.

Fuentes de radiación:

El 52 % de las radiaciones que existen en el medio ambiente son de origen natural. Las actividades médicas que implican la utilización de isótopos y rayos X constituyen el 11'4 % del total de las radiaciones. Del sol también nos llegan radiaciones ionizantes, a pesar de que la mayoría se absorben en la estratosfera. También se emiten radiaciones en las minas de uranio y torio y en las centrales nucleares, además de las lluvias radiactivas procedentes de las pruebas de las bombas nucleares.

Radiaciones de origen natural:

- Desintegración del uranio que forma parte de las rocas basálticas (entre ellas el granito). Luego, la explotación de granitos, pizarras, etc. Dan lugar a la dispersión de materiales que contienen uranio y que en su descomposición generan **Rn**, que se va acumulando en los lugares cerrados. Las mayores concentraciones de uranio se encuentran en el vapor de agua (durante la ducha).
- Los abonos que se usan en la agricultura tienen **Po⁴⁰** y pequeñas concentraciones de **U**; las plantas los absorben, lo acumulan en sus tejidos y así entra a formar parte de la cadena alimentaria.
- En algunos productos de consumo, se acumulan radionucleidos naturales como en el tabaco y en los moluscos. Algunas aguas minerales también contienen radionucleidos, especialmente el **Po⁴⁰**.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

- El agua de mar acumula radioactividad natural en mayor proporción que el agua de los ríos porque lleva sales disueltas. Fundamentalmente acumula un isótopo radiactivo del hidrógeno (tritio). Algunas playas también acumulan minerales que contienen radionucleidos.
- Radiación procedente del sol. En las montañas muy altas, la concentración de radiaciones ionizantes es más elevada que a nivel del mar, porque hay menos partículas que absorban estas radiaciones. Los aviones están expuestos a concentraciones considerables de radiaciones.

Radiaciones de origen artificial:

- Toda actividad relacionada con la energía nuclear. Las centrales nucleares utilizan como combustible uranio enriquecido, que es extraído de las minas y que ha sufrido un proceso de enriquecimiento. Los accidentes en las centrales nucleares provocan un aumento de la radiación.
- Lluvia radiactiva. Tiene como origen las pruebas de las armas nucleares. Las lluvias radiactivas afectan a un gran área de superficie porque se expande.
- Las fuentes médicas (rayos X, tratamientos contra el cáncer a base de **Sr**, **Ca**, **Ba**, etc., los marcadores de **C¹⁴** para observar la evolución de una enfermedad, medicamentos de seguimiento, etc.). Existe muy mala gestión de residuos radiactivos en los hospitales.
- Sensores contra incendios que están fabricados con materiales radiactivos. Las pantallas de TV y los monitores de los ordenadores emiten radiaciones.

Los isótopos más comunes son **Rn₂₂₂**, **I₁₃₁**, **Cs₁₃₄**, **Sr₉₀**, **Pu₂₃₉**.

El **I₁₃₁** se produce en procesos de fisión nuclear. Se deposita en los pastos y acaba formando parte de la cadena alimentaria. Es responsable de los cánceres de la tiroides.

El **Sr₉₀** es químicamente muy similar al **Ca** y se acumula en los huesos, por lo que es el responsable de los tumores óseos.

1.6. Contaminantes atmosféricos secundarios

Los contaminantes secundarios son aquéllos que se forman en la atmósfera por reacción de los contaminantes primarios. Las alteraciones más comunes debidas a la presencia de estos contaminantes secundarios son:

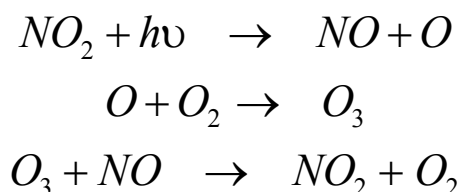
- Contaminación fotoquímica o *smog* fotoquímico.
- Acidificación del medio.
- Destrucción de la capa de ozono.

1.6.1. Contaminación fotoquímica o *smog* fotoquímico:

El *smog* fotoquímico se produce en una atmósfera muy cargada en especies muy oxidantes de naturaleza orgánica, al interaccionar **HC**, **O₂**, luz UV y óxidos de nitrógeno. El proceso de formación de este tipo de atmósfera está constituido por las siguientes reacciones:

a) Reacciones de inicialización:

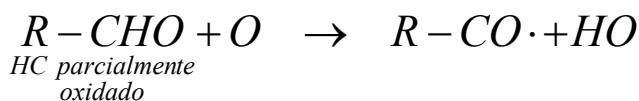
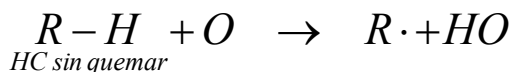
Estas reacciones proporcionan los radicales libres inicializadores de las reacciones en cadena. Consisten en la formación de óxidos a través del ciclo fotolítico del **NO₂** (atmósfera rojiza **NO₂-NO**). En este ciclo, las concentraciones de **NO₂**, **NO** y **O₃** se mantienen constantes. Se mantiene equilibrado mientras no intervenga ninguna especie que reaccione con las presentes compitiendo con alguna de las reacciones. Los HC son capaces de intervenir en el equilibrio.



b) Reacciones de ramificación:

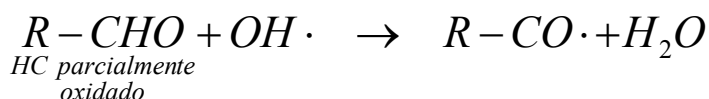
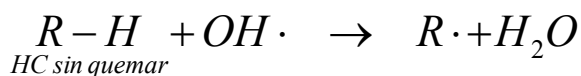
Generan un número de radicales libres mayor que el inicial:

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

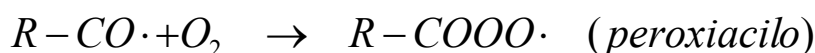
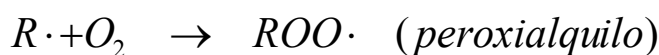


c) Reacciones de propagación:

El número de radicales libres es igual al inicial después de ocurrir la reacción:



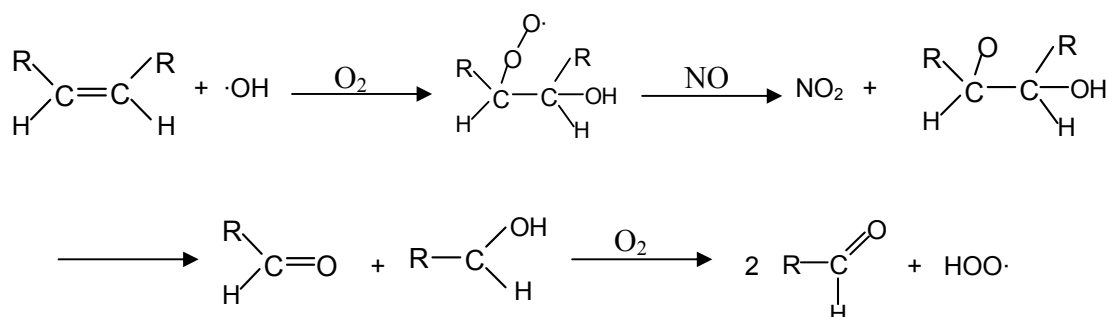
A su vez, los radicales alquilo y acilo reaccionan con oxígeno:



Además los radicales alcoxi reaccionan también con el oxígeno:

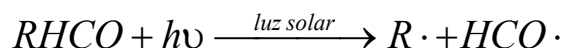


Cuando los radicales hidroxilo $HO\cdot$ reaccionan con HC insaturados (como las olefinas), se rompe el enlace y tienen lugar las siguientes reacciones en cadena:



La condensación de aldehídos y cetonas origina aerosoles fuertemente irritantes. Estos aldehídos se descomponen fácilmente en presencia de la luz solar:

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

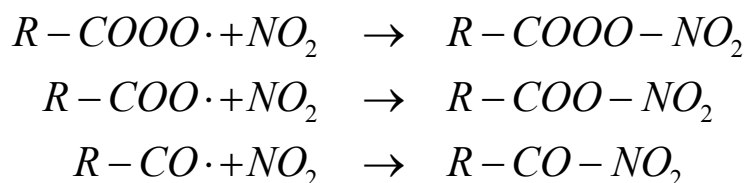


El hidropéroxido ($HCO\cdot$) es el responsable de oxidar NO a NO_2 dejando en libertad $OH\cdot$.

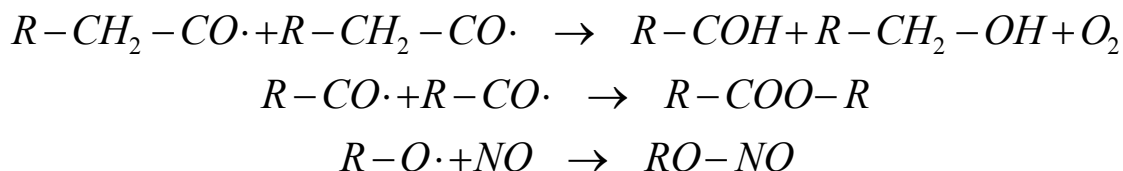
Una atmósfera urbana es altamente oxidante. Debido al *smog* fotoquímico se generan aerosoles de tipo secundario que provocan irritación en los ojos y garganta. La presencia de ozono troposférico, al ser tan oxidante, puede estropear el tejido vivo de plantas y animales, producir la descalcificación de huesos.

d) Reacciones de terminación:

Los radicales se recombinan entre sí o con otras especies como NO_2 , para dar productos estables.



También se producen reacciones entre mismas especies químicas:



Además, al intervenir los HC y proporcionar un camino alternativo para la formación de NO_2 , la concentración de ozono aumenta en las atmósfera.

Los HC expulsados por el tubo de escape de los automóviles son responsables de esta contaminación. Para evitar su emisión se han implantado catalizadores en los automóviles en una doble cámara reductora y oxidante.

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

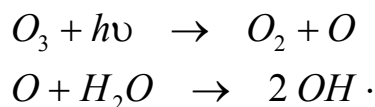
En la cámara de combustión se forma **NO** a causa de las altas temperaturas y en la cámara de reducción se consume el **NO** inhibiendo la emisión de **NO₂**. Así no se contribuye al desequilibrio del ciclo de **NO₂**, evitando la formación de una atmósfera cargada de PAN (peroxinitratos). En la cámara de oxidación se termina de consumir los HC de gasolina emitiendo a la atmósfera **CO₂**, **N₂** y **H₂O** que son especies no ecotóxicas.

Una atmósfera con presencia de smog fotoquímico se encuentra en zonas de mucho tráfico, en días soleados, con presencia de anticiclón y mala renovación del aire.

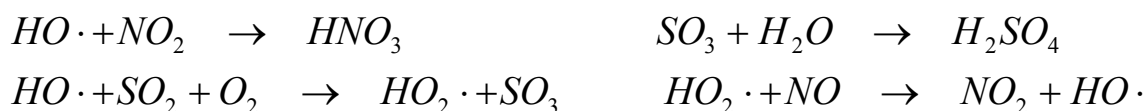
1.6.2. Acidificación del medio ambiente. Lluvias ácidas:

La acidificación del medio ambiente consiste en la pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua (superficie terrestre), como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra de óxidos de nitrógeno y de azufre (**NO_x**, **SO_x**) descargados a la atmósfera en forma de lluvia ácida (se cambia el pH de la superficie, tanto en las aguas como en el suelo).

Inicio del proceso:

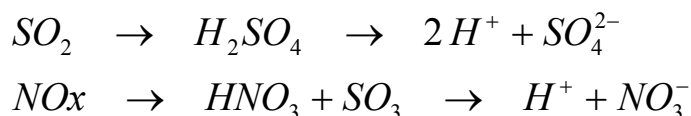


El radical hidroxilo es muy activo y reacciona fácilmente:



Como consecuencia, el pH del agua desciende de valores entre 5-6 a valores comprendidos entre 3 y 4 unidades de pH. Las sistemas acuáticos se sensibilizan liberando **Al⁺³**, un catión muy ácido que baja el pH del sistema.

Proceso de acidificación del medio (oxidación):



La lluvia ácida acentúa el *mal de piedra* que provoca que se agrieten las fachadas.

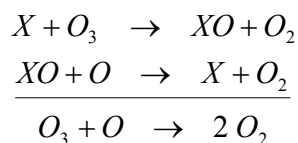
Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

1.6.3. Destrucción de la capa de ozono:

Existe un equilibrio entre la formación y descomposición del ozono, que tiene como resultado la absorción de luz solar UV y su transformación en calor:



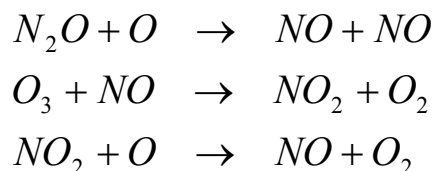
Este proceso es lento, pero se cataliza por una especie química **X** según estas reacciones:



La especie química **X** se recupera de modo que puede destruir muchas moléculas de ozono. Esta especie **X** puede ser : **Cl·**, **H·**, **Br·**, **OH·**, **NO**, **CO**, etc.

Procesos que destruyen la capa de ozono.

Participación del **NO** y **N₂O** en la destrucción de la capa de ozono por medio del tráfico aéreo y los cohetes espaciales. El **N₂O** es muy estable y proviene de la descomposición bacteriana de la materia nitrogenada.

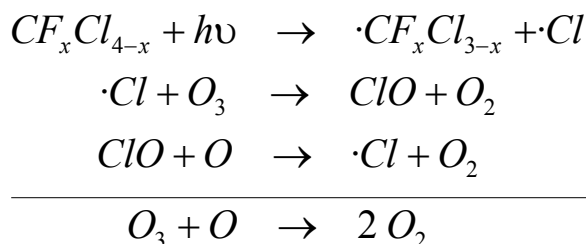


Se consume **O** en (1) y (3) que forma parte del proceso de creación del ozono y, además el **NO** se asocia con el ozono destruyendo la molécula (2).

Participación de los CFC's:

No es fácil que los CFC's alcancen la ozonósfera ya que termodinámicamente no está favorecido el paso de moléculas a través de una zona de inversión de temperaturas. Esta inversión de temperaturas se encuentra entre la estratosfera y la ozonósfera. Suponiendo que hay presencia de CFC's en la ozonósfera, se establece este proceso:

Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica



Se puede apreciar que según este proceso, la concentración de **Cl·** se mantiene constante.

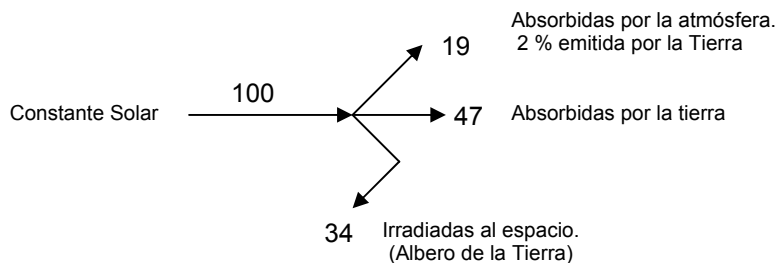
1.7. Equilibrio energético de la Tierra y la atmósfera. Efecto invernadero

No es un contaminante secundario porque no se genera como consecuencia de las reacciones entre contaminantes primarios. Sin embargo, sí que es una consecuencia de problemas físicos que generan la presencia en grandes cantidades de compuestos emitidos por la actividad del hombre como el **CO₂**, **CH₄**, **CO**, **NO**, CFC's, etc.

El efecto invernadero consiste en la absorción de energía, por parte de las moléculas, de longitud de onda correspondiente a las radiaciones que emite la Tierra. La Tierra se comporta como un cuerpo negro y, en función de la temperatura, emite radiaciones correspondientes a la longitud de onda del infrarrojo y longitudes de onda mayores.

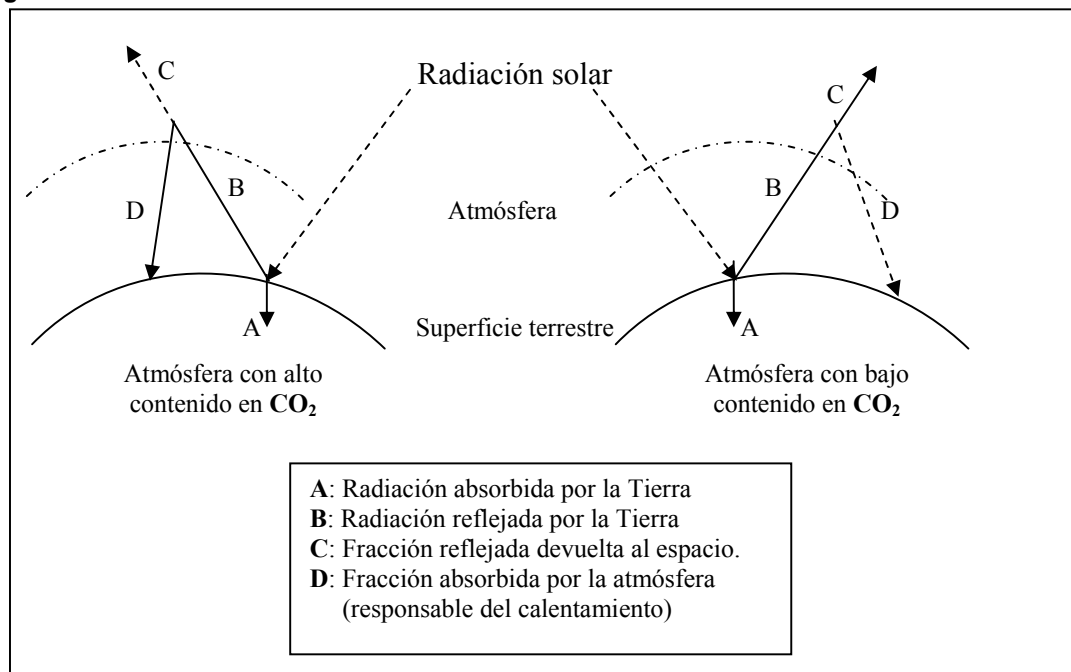
$$h \cdot \frac{c}{\lambda} = cte \cdot T^4$$

Sin embargo las moléculas no absorben la energía que proviene del Sol, rompiendo el equilibrio energético entre la Tierra y la atmósfera, ya que actúa como un filtro en un sólo sentido.



Unidad 1: Química de la contaminación atmosférica

Diagrama de la distribución de las radiaciones:



El vapor de agua es un componente termorregulador de la atmósfera, de tal modo que a mayor temperatura, mayor evaporación (desertización de zonas más cálidas como América Central y la zona mediterránea).

El calentamiento de la capa más cercana a la superficie terrestre provoca la disminución de la capa de agua congelada en los casquetes polares. El calentamiento es del orden de 0'3-0'6 °C produciendo una subida del nivel del mar de 10 a 20 cm.

Actividades que producen sustancias causantes del efecto invernadero:

- Uso desorbitado de los **HC** como fuentes de energía.
- Agricultura extensiva (cultivos de arroz) ya que se producen **HC** como metano por la degradación anaerobia. Se produce la fermentación anaerobia de los lodos y vertederos controlados (enterramientos de basuras sin biodegradar) generando **CH₄**, **HS**, **NH₃**, etc.
- Actividad de la ganadería extensiva.
- Incineradoras, motores de combustión, etc.

La deforestación masiva de los bosques y selvas como el Amazonas aumenta el efecto invernadero pues los árboles actúan como reguladores del **CO₂** en la atmósfera.

Unidad 2: Estándars de calidad del aire. Muestreo y análisis. Legislación

2.1. Calidad del aire

2.1.1. Niveles de inmisión.

La calidad del aire se mide a través de los niveles de inmisión, que se definen como la concentración media de un contaminante presente en el aire durante un tiempo determinado. Los niveles de inmisión se miden en μg de contaminante por m^3 de aire (milésima parte de un ppb). Es importante el factor tiempo durante el cual se ha estado analizando. Para determinar estos niveles se recogen en un rejilla durante un tiempo, las partículas de polvo que sedimentan y que llevan adheridas los contaminantes, se pesan las muestras, se separan los contaminantes y se analizan por medio de valoraciones.

Para los contaminantes gaseosos se miden por los niveles de emisión que se realizan a las salidas de las chimeneas. Se miden la temperatura y la velocidad de flujo, se extrae un volumen del flujo, se filtra y se hacen los análisis de los contaminantes. Las medidas de emisión se realizan in situ, en el foco de emisión del contaminante.

2.1.2. Fuentes de contaminación atmosférica. Emisiones.

Naturales.

Los focos de emisión naturales los constituyen principalmente los volcanes, los incendios forestales, descomposición de la materia orgánica en suelos y océanos, partículas de agua que arrastran sales en las brisas marinas. Virus y polvo que provienen del suelo arrastradas por los vientos. Polen y esporas de la vegetación. La emisión natural de estos contaminantes no provocan alteraciones en los ciclos biogeoquímicos.

Antropogénicos.

- Focos fijos: polígonos industriales, instalaciones productoras de energía e incineradoras. Calefacciones (sobretudo diesel).
- Focos móviles: vehículos de transporte (automóviles, aeronaves y barcos).
- Focos compuestos: Áreas extensas con aglomeraciones de muchas emisiones (Áreas urbanas).

Según su disposición, los focos de emisión pueden ser:

- Focos puntuales: industrias.
- Focos lineales: autopistas.
- Focos planos: polígono industrial, ciudades.

Unidad 2: Estándars de calidad del aire. Muestreo y análisis. Legislación**Proporción de focos de emisión de contaminantes:**

Contaminantes	Antropogénicos %	Naturales %
Aerosoles	11'3	88'7
SOx	42'9	57'1
CO	9'4	90'6
NO	11'3	88'7
HC	15'5	84'5

Las emisiones naturales son mucho más altas porque están dispersas. Las emisiones antropogénicas están más localizadas, por lo que la contaminación es local. La dispersión de los contaminantes ayuda a atenuar la contaminación local, pero no es la solución.

a) Contaminantes emitidos por la agricultura.

La quema de rastrojos, la recolección de cosechas (operación de cosechadoras, carga de camiones, transporte por el campo, aireación de las tierras de cultivo), fumigación y abonar el campo son actividades agrícolas que emiten contaminantes.

b) Contaminantes de origen doméstico y comercial.

Aclimatación de los espacios, cocinas (emisión de grasas, PAH's, olores), procesos de limpieza (usos de disolventes, polvo, propelentes de aerosoles, compuestos clorados), jardinería, procesos de pinturas (vapores de disolventes), procesos de lavado de ropa, etc.

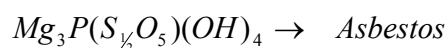
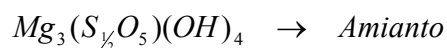
c) Contaminantes emitidos por la industria.

Los contaminantes emitidos por las industrias son muy amplios ya que dependen de los procesos de producción, el avance tecnológico, calidad de las materias primas utilizadas. Actividades industriales más contaminantes:

- Siderurgia integral. Emite **SOx**, **NOx**, **CO**, fluoruros (fundentes), humos rojos (**FeOx**) y gran cantidad de partículas.
- Refinerías de petróleo. Emite **SOx** (procesos de desulfuración del crudo), HC, **CO**, **NOx**, **NH₃**, mercaptanos, humos y partículas.
- Industrias químicas. Emite **SOx**, nieblas de **H₂SO₄**, **HNO₃** y **H₃PO₄** (por la fabricación de fertilizantes y explosivos), HS, mercaptanos, disolventes orgánicos.
- Industrias alimentarias e industrias de productos fitosanitarios.

Unidad 2: Estándars de calidad del aire. Muestreo y análisis. Legislación

- Industrias de obtención de aluminio. Se obtiene de la electrólisis de la criolita y la bauxita, por lo que los contaminantes son principalmente flúor (ánodo).
- Industrias relacionadas con la construcción. Cementeras e industrias que manejan amiantos y asbestos como materiales de construcción.



d) Contaminantes emitidos por los vehículos automóviles.

Motores de gasolina.

Si el motor funciona eficazmente toda la gasolina debería quemarse y producir CO_2 únicamente. El problema se encuentra en el arranque, pues se emite mucha gasolina sin quemar ya que el motor está muy frío. Una posible solución es la utilización de una batería de 48 V para que el arranque sea totalmente eléctrico.

Motores diesel.

El problema es que el diesel contiene un alto porcentaje de PAH's que son emitidos directamente a la atmósfera en el arranque. La solución consiste en enriquecer el combustible del motor de arranque en HC lineales mediante la separación selectiva de la mezcla diesel.

Emisión (g) por litro		
Contaminantes	Gasolina	Diésel
CO	360	7
NOx	15	20
HC	30	40
Partículas	1	14
SOx	-	0'5

Industrias. Contribución porcentual			
Sectores	SOx	NOx	Partículas
Energética	73	68'5	31'7
Cementera	3'2	3'7	27'2
Siderurgia	6'4	2'6	24'3
Química	7	18	6
Alimentaria	3	3	3

Unidad 2: Estándars de calidad del aire. Muestreo y análisis. Legislación

2.2. Influencia de los procesos meteorológicos en la dispersión atmosférica

La dispersión puede ser vertical y depender de la estabilidad de la atmósfera y de los procesos de inversión de temperaturas, y puede ser horizontal y depender del viento y su velocidad.

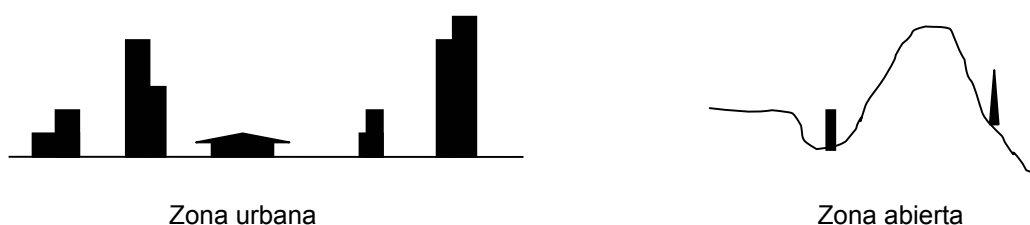
Transporte convectivo horizontal.

Producido principalmente por los vientos, que a su vez están generados por la diferencia de densidad del aire (dependiente de la temperatura). Masas de aire frío son más densas lo que provoca una zona de altas presiones, por el contrario, masas de aire cálido son menos densas y provocan una zona de bajas presiones. El aire se transporta de las zonas de mayor presión a las zonas de bajas presiones relativas.

Transporte convectivo vertical.

Se determina comparando la variación vertical de temperaturas en un estrato de aire atmosférico con el gradiente adiabático de temperaturas, que en aire atmosférico corresponde a 0'6-1 °C cada 100 m. Cuando hay inestabilidad puede ocurrir que el gradiente adiabático no se cumpla. Una atmósfera superadiabática es aquella en la que la variación de temperatura con la altura es mayor al gradiente adiabático; en esta atmósfera la dispersión convectiva está muy favorecida. Una atmósfera subadiabática es aquella en la que la variación de la temperatura con la altura es menor al gradiente adiabático; en este caso la dispersión convectiva está desfavorecida. Cuando encima de una masa de aire frío se coloca una masa de aire cálido, la dispersión convectiva no se produce y los contaminantes se acumulan en la zona cercana al suelo; si, además, se producen nieblas, este efecto se agrava, ya que no hay radiación solar suficiente para acabar con los microorganismos.

La topografía del terreno también es un factor importante en la dispersión de contaminantes.



El aire, en su movimiento horizontal, genera un remolino detrás de los obstáculos contra los que choca. Como resultado de estos remolinos se produce la deposición o sedimentación preferencial de partículas.

Unidad 2: Estándars de calidad del aire. Muestreo y análisis. Legislación

2.3. Efectos producidos por la contaminación

Los contaminantes atmosféricos afectan a los órganos respiratorios. Provocan irritación de ojos y piel. También producen acciones más agudas como envenenamiento de la sangre.

Que se pueda producir un efecto u otro depende de factores como la concentración del contaminante en el aire, la naturaleza de éste, el tiempo de exposición, de las fluctuaciones temporales, de la sensibilidad de los receptores y de los sinergismos entre ellos.

2.3.1. Sobre la salud humana. Toxicidad de los distintos contaminantes.

a) Óxidos de azufre.

Penetran a través de las vías respiratorias dañando los órganos del sistema respiratorio. Estos órganos están recubiertos de mucosas muy hidratadas por lo que el SO_2 se diluye en agua transformándose en H_2SO_4 , provocando quemaduras, irritaciones y lesiones más o menos fuertes; aunque su efecto depende de otros contaminantes presentes en el aire simultáneamente con el SO_2 . El SO_2 termina depositándose en los alvéolos pulmonares en forma de partículas.

b) Óxidos de nitrógeno.

El NO_2 irrita los ojos, afecta al aparato respiratorio. Produce sensación de asfixia, pero a grandes dosis activa la respiración y el relax. Por último provoca un edema pulmonar y la muerte (vapores rojos).

El *óxido nítrico* no irrita pero sí asfixia, pues forma complejo con el grupo hemo de la hemoglobina; este complejo, nitrohemoglobina, es más estable que la oxohemoglobina y disminuye el transporte de oxígeno a las células.

El NO forma la carboxihemoglobina que actúa de forma similar a la nitrohemoglobina.

c) Monóxido de carbono.

En principio no es una especie tóxica, el problema es que desplaza al oxígeno y puede provocar la muerte por asfixia.

Unidad 2: Estándars de calidad del aire. Muestreo y análisis. Legislación

d) Fluoruros.

En forma de tetrafluoruro de silicio o fluorhídrico. Producen afecciones crónicas cuando se asimilan en fase gaseosa o en forma de polvo (de compuestos que contienen flúor). Afectan atacando a huesos y dientes, pues reacciona muy fácilmente con el calcio (descalcificación).

e) Ozono.

Si la concentración es menor de 1 a 2 ppm no es tóxico, pero a concentraciones más altas empieza irritando las mucosas. Posteriormente ataca a los nervios provocando ataques asmáticos, dolores de cabeza, bronquitis, etc., debido a su poder oxidante.

f) Metales tóxicos.

Se introducen en el cuerpo al respirar en forma de aerosoles.

Los compuestos de *plomo* en el aire ya no son importantes, pero sí lo son en otros medios como el suelo y el agua. Eran asimilados por el cuerpo humano en forma de aerosoles y parte de él se depositaba en los huesos, el 35 % pasaba a la sangre y el resto se expulsa en la orina. El plomo produce deficiencia en la inteligencia de los niños y anomalías en los fetos. En los adultos se acumula en los riñones y ataca al sistema nervioso central. También inhibe la síntesis de la hemoglobina provocando anemia perniciosa (*saturnismo*).

Mercurio y compuestos. Lo más común es que accedamos al **Hg** a través de sus compuestos monometilmercurio y dimetilmercurio, pues son muy volátiles; el mercurio tiene una presión de vapor muy baja cuando lo dejamos en una atmósfera libre. Los primeros efectos son la pérdida de sensibilidad, insomnio, irritabilidad, depresión.

El mercurio se ve asociado al metiluro, dando lugar a compuestos organometálicos muy estables. El monometilmercurio y el dimetilmercurio se forman por la fermentación anaerobia de las aguas estancadas debido a la emisión de **CH₄** que reacciona con el **Hg** disuelto en el agua.

El *berilio* es muy utilizado en los sistemas electrónicos. Los objetos de **Be** no se pueden tocar pues produce *granulosis*, úlceras en la piel de dificultoso tratamiento. Si se respira produce fibrosis pulmonar. El problema está en que tienen un período de latencia de 15 a 20 años, es decir, al cabo de este tiempo aparecen sus efectos.

Unidad 2: Estándars de calidad del aire. Muestreo y análisis. Legislación

El *cadmio* es muy tóxico. Si se inhala produce neumonía y necrosis epitelial de los pulmones. El **Cd** se asimila porque la mayoría de las pinturas rojas y amarillas brillantes contienen **Cd**.

g) Asbestos y amianto.

Son compuestos utilizados en la construcción y la fabricación de fibras sintéticas para trajes espaciales e ignífugos de bomberos. El problema es que generan un aerosol con una capacidad de penetración muy grande en los pulmones que podrán provocar cánceres.

h) PVC's.

Son sustancias orgánicas halogenadas que irritan los ojos, provocan alergias, alteraciones genéticas y cánceres.

2.3.2. Sobre las plantas.

Las plantas son más sensibles que los humanos. Los contaminantes actúan provocando alteraciones en sus funciones vitales. Gases como el **CO₂**, flúor, alteran las funciones metabólicas provocando la necrosis (las hojas se ponen de color amarillo-rojo-rojizo-marrón y se caen). Esta enfermedad es conocida como *clorosis*.

Los contaminantes pueden actuar de dos formas:

- Acción aguda. Ocurre cuando las plantas están expuestas a grandes concentraciones de contaminantes en cortos espacios de tiempo.
- Acción crónica. Las producidas por bajas concentraciones a largos períodos de tiempo en donde las plantas sobreviven continuamente enfermas.

Los compuestos de flúor son tóxicos en general para las plantas, incluso a bajas concentraciones. Atacan las viñas y los árboles frutales.

El **F₂** se acumula en los pastos, por lo que las vacas acumulan flúor dándose la *fluorosis* en el ganado vacuno.

Tienen efectos muy dañinos los componentes del smog fotoquímico debido a que son muy oxidantes. También les afectan los compuestos orgánicos presentes en el aire.

Unidad 2: Estándars de calidad del aire. Muestreo y análisis. Legislación

2.3.3. Sobre los materiales.

El denominado “*mal de piedra*” consiste en el ataque del SO_2 a los minerales carbonatados como son los mármoles, la piedra caliza, la argamasa, etc. Todos ellos materiales utilizados en la construcción. El SO_2 sustituye el carbonato por el ion sulfato, es una reacción de sustitución. Este proceso se favorece con la lluvia ácida, ya no sólo por la presencia de óxidos de azufre, sino por el bajo pH del agua. Los carbonatos cálcicos (insolubles en agua) se transforman en sulfato cálcico (soluble en agua) y algunas veces en bicarbonato cálcico (soluble en agua); el resultado es que la roca se disuelve.

La erosión de los edificios por este problema se ha visto incrementada considerablemente en los últimos 30 años. Las rocas de los edificios se ven debilitadas mecánicamente porque el sulfato cálcico tiene un volumen específico superior al carbonato cálcico, lo que provoca grietas en las rocas. La solución para este *mal* consiste en eliminar la capa externa de la piedra para eliminar los sulfatos cálcicos.

Las superficies de los edificios también sufren la acción de los HC no quemados que expulsan los tubos de escape, los que provocan el ennegrecimiento y el aislamiento de las superficies expuestas.

Los óxidos de azufre y las nubes de ácido sulfúrico también atacan a las pinturas plásticas y otros polímeros que forman parte de las estructuras de los edificios. Las fibras textiles sufren decoloraciones, el papel se amarillea y se deshace y también los contactos eléctricos de sistemas electrónicos de las antenas sufren la acción de estos contaminantes provocando interferencias y deficiencias en el funcionamiento.

Los contaminantes fotoquímicos atacan los recubrimientos poliméricos, las estructuras metálicas, decoloran y estropean las fibras textiles y, en concreto, los nitratos atacan las aleaciones de los sistemas eléctricos.

2.4. Legislación relativa a emisiones e inmisiones. T.L.V.S.

Los T.L.V.S. (valores límite umbral) hacen referencia a la concentración de sustancias que se encuentran en suspensión en el aire en las zonas próximas a los puestos de trabajo. Son los valores máximos de concentración de contaminantes a los que pueden exponerse los trabajadores día tras día.

Unidad 2: Estándars de calidad del aire. Muestreo y análisis. Legislación

Dentro de los T.L.V.S. se distinguen:

- TLV-TWA. Valores promedio ponderados en un determinado tiempo de exposición. Suelen indicarse para el caso de una jornada normal de trabajo de 8 horas y una semana laboral de 40 horas.
- TLV-STEL. Valor límite umbral de exposición de corta duración. Hace referencia a la concentración de contaminante a la que puede verse expuesto un trabajador en un accidente.
- TLV-C. Valor de la concentración a partir de la cual no puede verse expuesto en ningún momento un trabajador.

Estas son algunas de las sustancias más tóxicas y más utilizadas en las industrias:

SUSTANCIAS	INDUSTRIAS	EFFECTOS	T.L.V.S.
Acetonitrilo Acrilonitrilo	Fabricación de resinas y fibras sintéticas	Altamente cancerígenos	---
Benceno	Refinado de petróleo y derivadas	Cancerígeno Bioacumulativo (5-10 años)	---
Disulfuro de carbono	Fabricación de fibras sintéticas	Daños cerebrales Atrofia muscular	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 h
1,2-dicloroetano	Síntesis orgánica.	Mutagénicos. Dañan hígado, pulmón y riñón.	700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 h
Diclorometano	Disolventes pinturas.		3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 h
Formaldehído	Fabricación materiales aislantes	Cancerígeno	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 30 min
PAH's	Combustión de materia orgánica	Cancerígenos	---
Estireno	Polimerizaciones	Mutagénico	70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 30 min
Tetracloroetileno	Disolvente en limpieza en seco y de metales	Atacan el sistema nervioso central	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 h
Tolueno	Petroquímicas. Disolvente		
Tricloroetileno	Desengrasante. Imprentas, pinturas	Ataca al sistema nervioso central. Cáncer de hígado	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 h
Cloruro de vinilo	Fabricación PVC's. Vertederos		

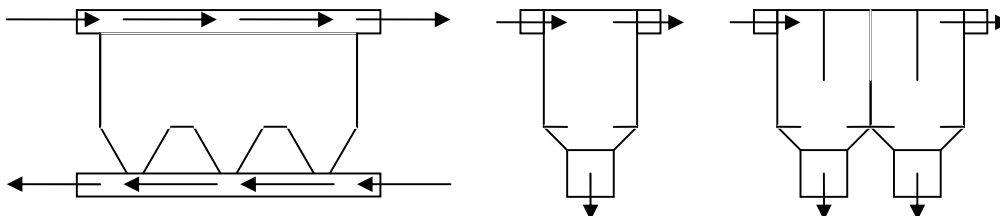
2.5. Aparatos y técnicas de medida

2.5.1. Sistemas de purificación de gases.

Dependiendo de la naturaleza química, del tamaño de las partículas y de la temperatura de la fuente de emisión, tenemos estas técnicas.

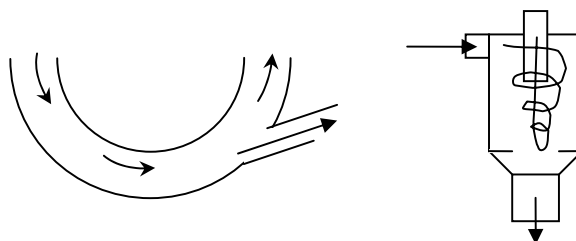
a) *Cámaras de sedimentación.*

Separación por gravedad. Se aplica para separar partículas cuyo tamaño sea superior a $150\ \mu\text{m}$. Son menos eficaces, pero con partículas muy gruesas eliminan hasta el 95 %. Es el método más barato y el que ocurre en la naturaleza habitualmente. La corriente gaseosa sucia se introduce tangencialmente en el separador que es más ancho que la conducción de gas, entonces velocidad tangencial de las partículas más pesadas disminuye y sedimentan en el fondo reuniéndose en las tolvas. Puede mejorarse introduciendo tabique a lo largo del recorrido para favorecer la sedimentación ya que las partículas pierden cantidad de movimiento al chocar con las paredes. Uno de los problemas de estos equipos es que se necesita mucho espacio para su instalación.



b) *Cámaras ciclónicas.*

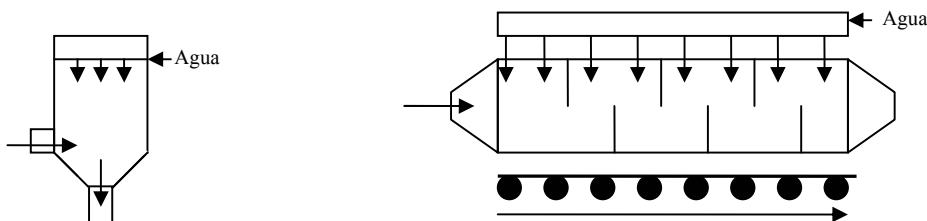
Ciclones y colectores centrífugos. Separación de partículas mayores de $10\ \mu\text{m}$. Los sistemas ciclónicos suelen consistir en una corriente de gas (principalmente) que se somete a un movimiento circular que hace que las partículas sean arrastradas hacia fuera de la corriente y choquen con las paredes de la cámara cayendo al fondo por la acción de la gravedad.



Unidad 2: Estándars de calidad del aire. Muestreo y análisis. Legislación

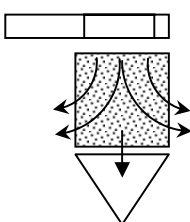
c) Separadores húmedos, torres de lavado o Scrubbers..

Son torres en las que el gas se introduce por el fondo y por arriba se colocan surtidores de agua que mojan las partículas y no al gas con lo que son arrastradas al fondo de la torre y separadas.



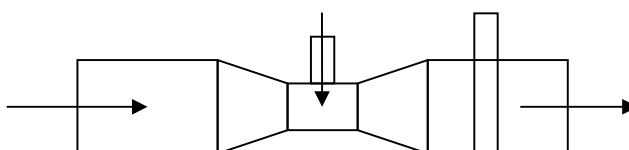
d) Filtros de mangas o filtros de tejido.

Tamaños de partícula superiores a 0'5 μm . Se hace pasar la corriente por una manga de tela que retiene las partículas y deja pasar el fluido. A veces se emplea una doble pared de fibra, de este modo cuando el aire entra en la manga ya está limpio y cuando sale atraviesa de nuevo la pared, aumentando así el rendimiento de la manga. Se corre el riesgo de obstrucción en la manga, para detectarla hay que vigilar la presión, si aumenta es porque se produce la obstrucción. Las obstrucciones requieren un sistema de limpieza que puede ser por movimientos oscilatorios, oscilación de las mangas, limpieza por agitación o limpieza por chorro de un gas a contracorriente. Es un sistema muy eficaz pero conlleva una gran acumulación de residuos sólidos bastante importante. Los materiales utilizados para hacer la manga varían en función de la densidad de la corriente sucia, grado de absorción de humedad, resistencia a la ruptura y resistencia a los ácidos (algodón, lana, poliéster, poliamidas, poliacrilatos, cloruro de vinilo, polipropileno, teflón, fibras de vidrio silicatadas, etc.).



e) Lavadores Venturi.

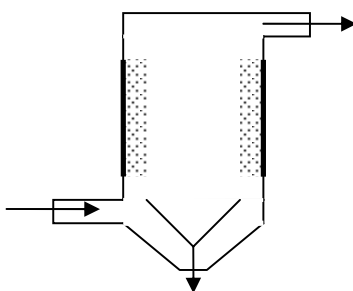
La corriente de gas sucio se hace pasar por un estrechamiento de la conducción, en el que se añade agua, para que aumente su velocidad. Tras el estrechamiento se vuelve a ensanchar la conducción haciendo que la corriente se desacelere y que precipiten las impurezas.



Unidad 2: Estándars de calidad del aire. Muestreo y análisis. Legislación

f) Precipitadores electrostáticos.

Capaces de eliminar el 99 % de las partículas cuyo tamaño sea superior a $0'001 \mu\text{m}$ (1 nm). Un separador electrostático crea un potencial (30000-100000 V) por el cual se hace pasar la corriente de gas, de tal forma que el campo creado ioniza las partículas y las atrae a los electrodos. Una vez depositadas en los electrodos, se agita el tanque o simplemente se cambia la polaridad de los electrodos y caen al fondo. Se gastará mucha energía para generar el potencial, pero no se crean residuos sólidos adicionales.



2.5.2. Sistemas de eliminación de gases contaminantes.

Hasta ahora hemos visto sistemas capaces de retener partículas del aire contaminado, pero además, todas las emisiones llevan gases contaminantes. Se clasifican según el proceso físico y químico que se emplea para su eliminación:

a) Tratamiento antes de la emisión.

Consiste en hacer reaccionar los contaminantes presentes en la corriente gaseosa con algún reactivo capaz de retenerlos. En la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas se generan lodos con una concentración alta de contaminantes. Los tratamientos que se les suele aplicar son la incineración o la fermentación anaerobia; con esta última se obtiene biogas que contiene altas concentraciones de metano, sulfhídrico y amoníaco. Este biogas se puede ser reutilizado en una planta de cogeneración para la producción de energía para la propia industria. Estas plantas de cogeneración tiene un problema y es que se oxida el sulfhídrico a SO_2 y SO_3 depositándose en el sistema. Actualmente el proceso más extendido es la adición de FeCl_3 con lo que precipita el sulfhídrico como sulfuro férrico.

Unidad 2: Estándars de calidad del aire. Muestreo y análisis. Legislación

b) Proceso de absorción. Desulfuración.

Se lleva acabo en torres de rectificación o torres de platos. Se obliga a que el gas entre en contacto con una corriente líquida que contiene una base (si pretendemos eliminar un ácido) o un ácido (si pretendemos eliminar una base). El gas contaminante entrará por la parte inferior y a medida que pasa por cada plato se produce la transferencia de materia. La fase gaseosa empobrece en contaminante y la líquida se enriquece. De este modo el gas saldrá por la parte superior limpio y el líquido saldrá por la parte inferior conteniendo el contaminante neutralizado en su seno.

c) Proceso de adsorción.

Un gas que posee una serie de sustancias se hace pasar por lechos (por ejemplo de carbón activo, zeolitas, arcilla hidrocalcita, sílice, etc.) y quedan adheridas a la superficie del relleno.

c) Proceso de reducción fotocatalítica.

Se retienen los contaminantes al emitirse directamente y se mineralizan, usando la irradiación de un fotocatalizador y se lleva a cabo la oxidación avanzada de todos estos contaminantes. El más utilizado el TiO_2 soportado sobre un monolito, que es una red impregnada TiO_2 . Así la masa gaseosa atraviesa los poros de la red se pone en contacto con el fotocatalizador en presencia de la luz U.V. Así hay que irradiar con $\lambda > 300 \text{ nm}$. que es la zona donde el TiO_2 presenta una absorbancia elevada. En ausencia de fotocatalizador se usan radiaciones de λ más corta. Se están desarrollando sistemas para poder mineralizar "in situ" los contaminantes orgánicos. Los fotocatalizadores y el TiO_2 , que es un fotosensibilizador, absorben radiaciones de la zona del U.V.A., por lo que actúan como filtros para estas λ . Los sistemas con TiO_2 tienen un riesgo y es que es un sensibilizador que produce radicales $\text{OH}\cdot$ cuando en el medio hay agua.

d) Proceso de combustión.

2.5.3. Técnicas de análisis. Procesos químicos.

a) Técnicas que se basan en volumetrías y en gravimetrías.

Se utilizaban reacciones con k_{eq} muy elevadas con el fin de eliminar el contaminante de la disolución. Si es una volumetría se han de tener en cuenta los equivalentes de reactivo valorante

Unidad 2: Estándars de calidad del aire. Muestreo y análisis. Legislación

que se consumen para hacer reaccionar cuantitativamente al contaminante. Las volumetrías se dan para reacciones ácido-base, redox, precipitación y formación de complejos.

En un gravimetría lo que se hace es pesar un precipitado que hemos formado con el contaminante o un derivado del mismo. Conociendo la masa del precipitado, conocemos los moles y desde luego el porcentaje en peso del contaminante.

b) Técnicas que se basan en espectrofotometrías.

Se suelen utilizar los colorímetros, aparatos que realizan una espectrofotometría de luz visible que se basa en la ley de Lambert-Beer (ver unidad 1). Este método se utiliza para medir concentraciones de especies que absorben energía en la zona del visible (colorimetría) y en la zona de U.V. (espectrofotometría por U.V.).

Si la sustancia a analizar se encuentra en fase sólida el haz del aparato no atraviesa la muestra, sino que la refleja y debemos utilizar una técnica de reflectancia difusa (una derivación del método normal de espectrofotometría). Si se encuentra en disolución usamos el método normal.

Para la determinación de metales pesados usaremos estas técnicas:

- Absorción atómica. Mide la intensidad de una radiación y la procesa. Esa radiación proviene de pasar la muestra a analizar a fase gas inyectándola en un mechero de acetileno. Es decir, se tiene una nube de átomos que es atravesada por una radiación electromagnética que es emitida por unos átomos excitados dentro de un componente previo que consiste en una lámpara que contiene un cátodo hecho con el mismo metal que yo quiero analizar. Dicho cátodo lo somete a una diferencia de potencial que es lo que hace que los átomos estén excitados y originen la radiación electromagnética. Previamente la mezcla se ha de solubilizar con HNO_3 para eliminar la materia orgánica y con perclórico para oxidar el metal.
- Emisión atómica. Se utilizan para analizar metaloides como el arsénico, boro, selenio, etc. Consiste en la excitación de los átomos y la medición de esa radiación por pérdida de energía. Se genera una nube de átomos y se pasa a un estado de plasma. Tras perder la excitación generan un tipo de luz. La intensidad de la luz depende del mayor número de átomos. Se alcanzan entre 5000-7000 K para conseguir el estado de plasma.
- Fluorescencia de rayos X. Para metales que pasan a fase gas fácilmente (Hg, Se, etc.) o subliman o tienen una presión de vapor muy elevada. Se basa en la medida de los rayos X emitidos cuando los electrones vuelven a su estado excitado el cual ha sido originado por

Unidad 2: Estándars de calidad del aire. Muestreo y análisis. Legislación

una fuente de excitación de rayos X o con una radiación γ o con radiación de protones. Los rayos X emitidos tienen una energía característica del tipo de átomos excitados. Entonces λ es un dato cualitativo y la I (intensidad) de la radiación un dato cuantitativo.

c) Técnicas electroquímicas.

Estas técnicas se basan en el uso de electrodos químicos que emiten un potencial electrodo.

- Potenciometrías. Emiten el potencial de un electrodo que contiene al contaminante con respecto a otro de referencia (H_2 , calomelanos, etc.). Se basan en la ley de Nerst:

$$E = E^0 + \frac{2'303 \cdot R \cdot T}{z \cdot F} \cdot \log(az) \rightarrow E = E^0 - \frac{R \cdot T}{\mu \cdot F} \cdot \ln(1/az)$$

Se usan para determinar la presencia de contaminantes en sistemas en continuo (mediante electrodos selectivos).

- Voltametrías. Miden la corriente como resultado de aplicar un potencial a un microelectrodo que contiene el contaminante.
- Amperimetrías.

d) Técnicas cromatográficas.

Las técnicas de C. de gases, C. líquida a alta presión en fase directa o en fase inversa nos proporcionan medida cuantitativas y cualitativas. Se basan en el arrastre de los componentes a diferentes velocidades en función de las actividades.

Tiene importancia el tipo de detector de estos sistemas y el tipo de inyector. Hay un sistema inyector (Purge and Trap) para determinar un componente en fase gas con poca concentración. Se intenta concentrar al contaminante en un volumen más pequeño de gas.

Para HC halogenados se emplean detectores por variaciones de la conductividad con la temperatura. También se emplean para compuestos fosforados. Detectores de ionización a la llama para los compuestos orgánicos. El espectrofotómetro de masas se puede emplear como detector en un cromatógrafo de gases y HLPC.

La cromatografía de gases se emplea cuando los contaminantes orgánicos son poco polares. El inyector lleva un purge and trap. Si están a concentraciones muy pequeñas. Si los compuestos son muy polares se detectan por HLPC (en fase normal o inversa). Los más polares tienen menor tiempo de retención y los más apolares mayor tiempo de retención en HPLC inversa, en fase normal o en C. de gases ocurre al revés.

Unidad 2: Estándars de calidad del aire. Muestreo y análisis. Legislación

*e) Determinación de algunos contaminantes.**Determinación de la presencia de CO.*

Se puede determinar por cromatografía de gases y después mediante un reflector (IR o fluorescencia), por una combustión catalítica de detección térmica; el problema es que hay sustancias que pueden interferir con estas técnicas, como el **CO₂** y los compuestos que presentan algún grupo **C=O**. Otra técnica es la determinación electroquímica, donde suelen interferir dos sustancias, el óxido nítrico y el xileno

Determinación de la presencia de SOx.

Generalmente se determina por ionización de llama o fotometría de llama, aunque interfieren el sulfhídrico y el **CO**. También se pueden determinar por cromatografía de gases, por espectrofotometría ($\lambda=548$ nm); pero también interfieren sustancias como el sulfhídrico, el amoníaco, el ozono, etc.

Determinación de la presencia de O₃.

Puede determinarse por electroquímica, pero lo normal es la determinación por quimiluminiscencia, es decir, se mide la fluorescencia de una muestra de ozono recogida en una disolución de yoduro potásico, ya que al irradiar la muestra, las moléculas de ozono se excitan y al volver al estado normal emiten energía en forma de luz (luminiscencia); la intensidad de la radiación emitida depende del número de moléculas por cm^3 de la muestra. También puede determinarse por espectrofotometría en fase gas (UV-visible con la muestra en fase gas).

Determinación de la presencia de NO₂.

Se determina por quimiluminiscencia, pero interfieren el amoníaco, el óxido nítrico, el **CO₂** y el **SO₂**. También se determina por espectrofotometría de un complejo formado por el **NO₂** y colorantes azoicos (el **NO₂** pasa a nitrito y se hace reaccionar con ácido sulfanílico y con α -naftiletilendiamina). Entonces se mide la banda de absorción a $\lambda=550$ nm (que es la λ donde aparece el máximo). Se determina por conductividad, por espectrofotometría en fase gas y con medidas electroquímicas.

Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes

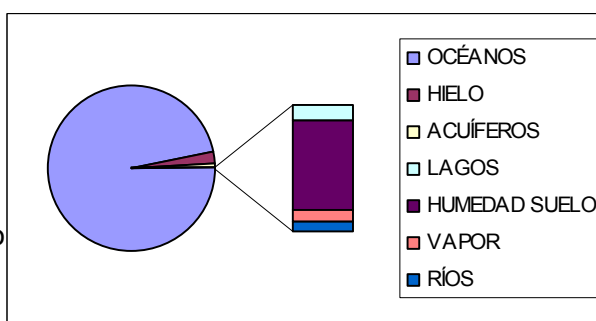
3.1. Introducción

El agua se reparte en la corteza terrestre en el 97 % en mares y océanos y el 3 % en agua dulce.

El agua salada sirve de medio para la vida marina y participa en el ciclo térmico de regulación de la temperatura de la Tierra. El agua dulce es la fuente de agua para el consumo humano y se reparte así:

Reparto del agua:

- **97%** Océanos.
- **3%** Agua dulce, de los cuales:
 - **75%** Hielos, glaciares.
 - **24%** Acuíferos.
 - **0.03%** Ríos.
 - **0.06%** Humedad del suelo
 - **0.3%** Lagos.
 - **0.035%** Vapor.



El agua pura útil forma parte de los ríos, lagos y acuíferos. El resto está como agua salada constituyendo los océanos en forma de disolución salina que la hace no útil para la actividad humana. A pesar de la gran cantidad de agua, escasea el agua pura o útil para el hombre. La desalinización del agua salada se ha planteado como solución a esta escasez. Algunos procesos de desalinización son, por ejemplo, la destilación, la ósmosis inversa y la nanofiltración; todos ellos procesos muy eficaces para pequeños caudales y muy poco para grandes caudales.

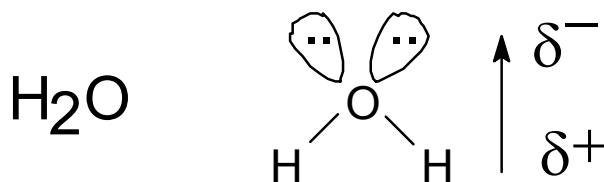
En un principio, en la sociedad agrícola, el hombre gastaba muy poco agua ya que su uso era exclusivamente agrícola (cultivos y ganados), no bebían agua por falta de higiene y tampoco estaba extendido el aseo personal. Esta sociedad no era muy contaminante pues en el ciclo del agua los residuos quedaban integrados en el ciclo.

3.2. Propiedades del agua

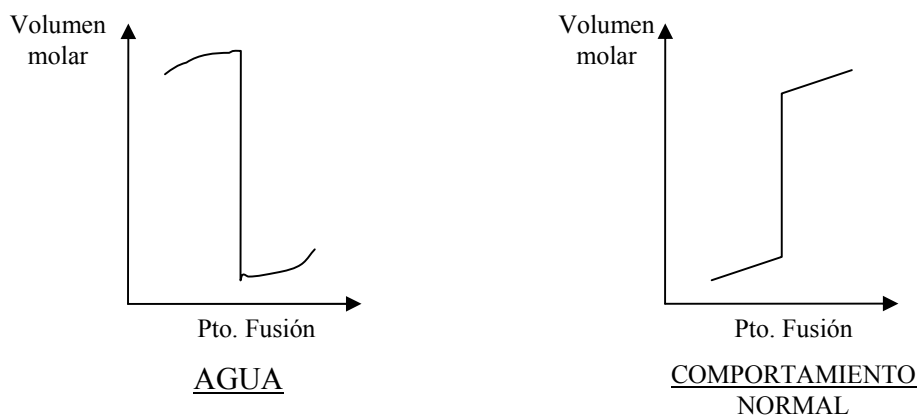
Propiedades físicas

La molécula de agua se caracteriza por ser muy polar. El átomo de oxígeno tiene 6 e⁻ en su capa de valencia de los cuales dos se encuentran formando enlace con sendos e⁻ de los dos átomos de hidrógeno y el resto se encuentran en hibridación sp³. Existen dos momentos dipolares debidos a los átomos de H y otros dos asociados a los electrones desapareados; si los sumamos surge un momento dipolar total desde los átomos de H hacia los electrones desapareados.

Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes



La densidad electrónica sobre el átomo de oxígeno es muy alta por lo que se establecen enlaces dipolo-dipolo entre las moléculas de agua, los puentes de hidrógeno. Estas interacciones intermoleculares son elevadas, lo que provoca que influyan en las propiedades físicas y químicas del agua. Estas interacciones hacen que el agua tenga un elevado calor específico comparado con otras sustancias con un punto de ebullición parecido. Esta propiedad convierte al agua en un sumidero de calor, de aquí su gran capacidad como regulador térmico. También presenta una entalpía de vaporización alta, lo que le permite regular el *efecto invernadero*. El agua tiene una temperatura de fusión muy elevada, presentando una anomalía poco corriente y es que el volumen molar en fase sólida es mayor que el volumen molar en fase líquida; hay muy pocas sustancias que tienen esta anomalía, una de ellas es el **Hg**. Este fenómeno permite la vida marina en las zonas polares ya que el hielo flota comportándose como suelo firme para la vida en estos territorios.



El agua es un buen disolvente debido a su gran polaridad, disolvente de sustancias polares como las sales iónicas, que se estabilizan en el agua por el hecho de estar solvatados en su seno. Por esto mismo se utiliza como disolvente, dispersante de los contaminantes, pues son arrastrados con el agua.

Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes

Propiedades físicas

- Por ser de pequeño tamaño se puede incorporar en el seno de otras sustancias.
- Capacidad de reaccionar con ciertas sustancias para dar productos solubles.
- Elevada constante dieléctrica, es decir, la concentración de iones es muy pequeña. Si se solubiliza una sal, la conductividad se eleva considerablemente.
- Posibilidad de formar puentes de hidrógeno con especies de alta electronegatividad.
- Momento dipolar grande.
- Sustancia de comportamiento anfótero, puede actuar como base o como ácido, es decir ceder o aceptar protones en disolución dependiendo de la naturaleza de la otra sustancia.

Comparativa entre el agua y el n-heptano (parecido punto de ebullición)

	Agua	n-Heptano
Calor específico (cal/g°)	1	0,49
ΔH vapor (cal/g)	540	75
ΔH fusión (cal/g)	79,7	34
ΔV en fusión (ml/g)	-0,093	0,079
Masa molar	18	100
Momento dipolar (D)	1,85	0
Constante dieléctrica	80	1,9

El agua es un elemento inusual en su comportamiento como venimos diciendo. Si comparamos sus propiedades físicas con otras sustancias hidrogenadas cercanas al oxígeno en la tabla periódica, que en principio deben tener propiedades parecidas, podemos observar que difiere bastante con ellas. Todo esto provocado por los enlaces por puentes de hidrógeno, ya que las otras sustancias no forman o no son tan importantes.

Comparación entre el agua y otras sustancias afines

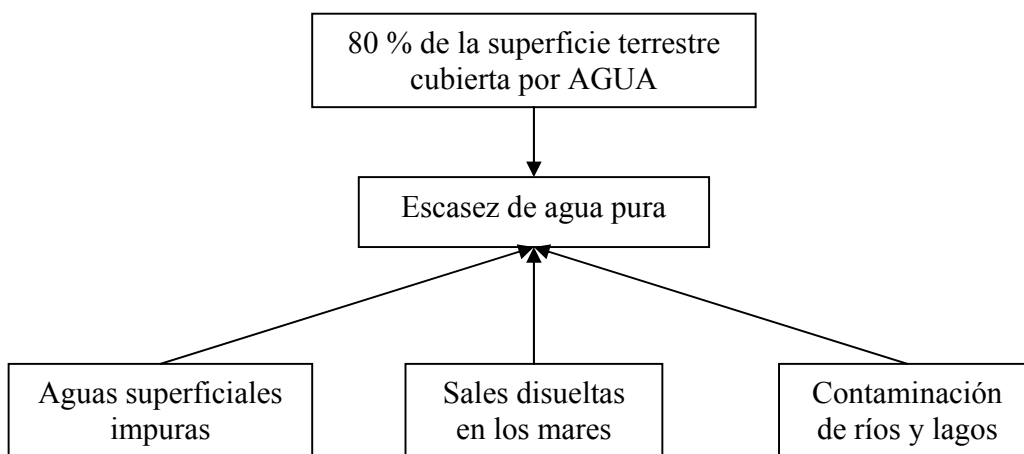
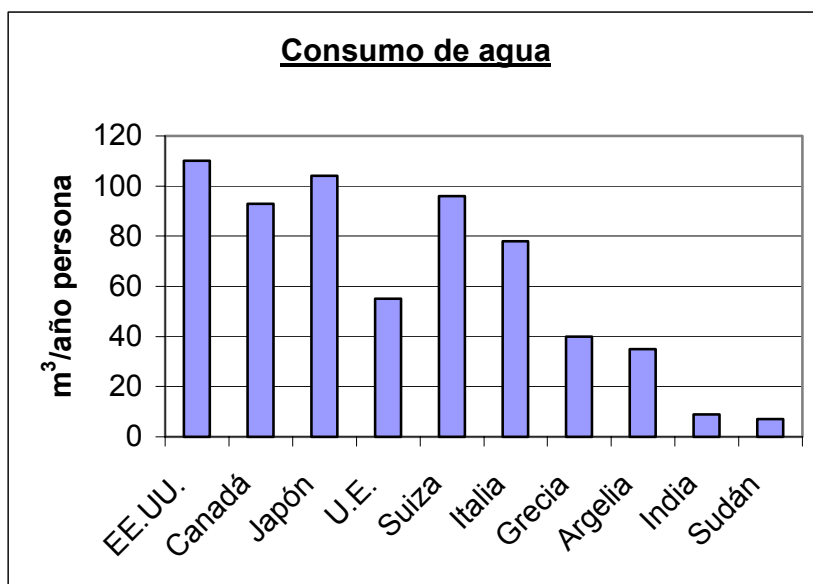
	NH ₃	H ₂ O	HF	SH ₂
Pto. Ebullición (°C)	-33	100	19	-61
Pto. Congelación (°C)	-78	0	-92	-86

Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes

3.3. El agua en el medio ambiente

El 70 % del cuerpo humano es agua, mientras que en el reino vegetal el agua constituye del 90 al 95 % de la masa total. El agua forma parte de la vida en tan alta proporción porque la mayoría de reacciones bioquímicas se llevan a cabo en medio acuoso debido al carácter de disolvente universal que se le atribuye al agua.

En lo que se refiere al planeta, éste contiene un 80 % de agua, aunque ya hemos visto que de ese 80 % sólo nos es útil un 3 %. Esta agua útil no está igualmente repartida, y un índice de los m³ que se consumen en un país por año y persona nos da una idea del nivel económico del país ya que en un país más industrializado con una agricultura extensiva, el consumo de agua es muy superior; además en países subdesarrollados incluso el agua de consumo humano no está debidamente tratada por falta de infraestructuras y tecnología.



Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes

3.4. Calidad del agua

Se puede afirmar en cuanto a la calidad del agua que:

- La degradación de la calidad del agua es evidente.
- Una posible vía de solución a esta degradación es, forzosamente, una legislación que controle o evite la emisión de sustancias contaminantes.
- Referencia de calidad del agua: Características del agua en función de su uso.
- El criterio fundamental para establecer un estándar o patrón de calidad será: "El efecto que las sustancias u organismos presentes puedan tener sobre la salud humana".
- Las mayores exigencias corresponden al agua para beber y en general todas las de suministro humano.
- La legislación actual se resume en el R.D. del 18 de junio de 1998.

3.4.1. Características que definen la calidad del agua.

a) Parámetros organolépticos.

Son las características del agua que se pueden apreciar con los sentidos:

Denominación	Unidades	Valores de calidad	Valores umbrales
Olor	Umbral	Inodora	Desinfectante
Sabor	Umbral	Insípida	Desinfectante
Color	mg(Pt-Co)/L	1	20
Turbidez	U.N.F.*	1	6

* U.N.F.: Unidades Nefalométricas de Formacina.

b) Parámetros físico-químicos.

Denominación	Unidades	Valores de calidad	Valores umbrales
pH	Unidad de pH	7 - 8	6,5 - 9,2
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm}$ (20°C)	400	-
Cloruros	mg(Cl ⁻)/L	25	350
Sulfatos	mg(SO ₄ ²⁻)/L	25	400
Calcio	mg(Ca ⁺²)/L	100	200
Magnesio	mg(Mg ⁺²)/L	30	50
Aluminio	μg (Al ⁺³)/L	50	200
Dureza total	Mg(CaCO ₃)/L	150	-
Residuo seco (110°C)	mg/L	750	1500
O₂ disuelto	mg(O ₂)/L	5 min	-
Sílice	mg(SiO)/L	-	-
Temperatura	°C ó K	Bajas T ^{as}	-

Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes

c) Parámetros relativos a sustancias no deseables.

Denominación	Unidades	Valores de calidad	Valores umbrales
Nitratos	mg(NO ₃)/L	25	50
Nitritos	mg(NO ₂)/L	Ausencia	0,1
Amoníaco	mg(NH ₄ ⁺)/L	0,05	0,5
Oxidabilidad (KMnO ₄)	mg(O ₂)/L	2	5
Sustancias extraíbles por cloroformo	mg/L	100	-
Hierro	mg(Fe)/L	50	200
Manganeso	μg(Mn)/L	20	50
Cobre	μg(Cu)/L	100	1500
Zinc	μg(Zn)/L	100	5000
Fósforo	μg(P)/L	170	2150
Materia en susp.	-	Ausencia	-
Sulfúrico	-	-	No detectable
Flúor	μg(F)/L	-	1
Detergentes	μg(C)/L	-	1500

d) Parámetros relativos a sustancias tóxicas.

Denominación	Unidades	Valores máximos
Arsénico	μg(As)/L	50
Cadmio	μg(Cd)/L	5
Cianuros	μg(CN)/L	50
Cromo	μg(Cr)/L	50
Mercurio	μg(Hg)/L	1
Níquel	μg(Ni)/L	50
Plomo	μg(Pb)/L	50
Antimonio	μg(Sb)/L	10
Selenio	μg(Se)/L	20
Plaguicidas	μg/L	0,1
HC PAH's	μgPAH/L	0,5
HC PAH's	μgPAH/L	0,2

e) Parámetros microbiológicos.

- Bacterias aerobias totales (10/l).
- Bacterias anaerobias.
- Coliformes.
- Streptococo fecal.
- Elementos apreciables a simple vista.
- Microorganismos parásitos y patógenos.
- Gardia y chryptosporidium, legionela.

Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes

f) Radiactividad.

- Partículas α global: 3 picocurios/l.
- Partículas β global: 30 picocurios/l

$$1 \text{ curio} = 3,7 \cdot 10^{10} \frac{\text{desintegraciones}}{\text{gramo} \cdot \text{seg}}$$

$$1 \text{ picocurio} = 10^{-12} \text{ curios}$$

3.4.2. Clasificación de las aguas.

Hay mucho agua pero muy poco agua es útil para el consumo humano:

Agua potable.

Agua cuyos parámetros se encuentran por debajo de los máximos admisibles.

Agua sanitariamente permisible.

Puede permitirse el agua siempre que no sobrepase el límite de productos tóxicos, radiactivos o de contaminación fecal.

Agua no potable.

Las condiciones fisico-químicas y los parámetros microbiológicos o de radiactividad impiden su inclusión en alguna de las categorías anteriores.

3.4.3. Legislación actual en materia de calidad del agua.

*Ver los cuadros adjuntos.

Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes

3.5. Contaminación del agua

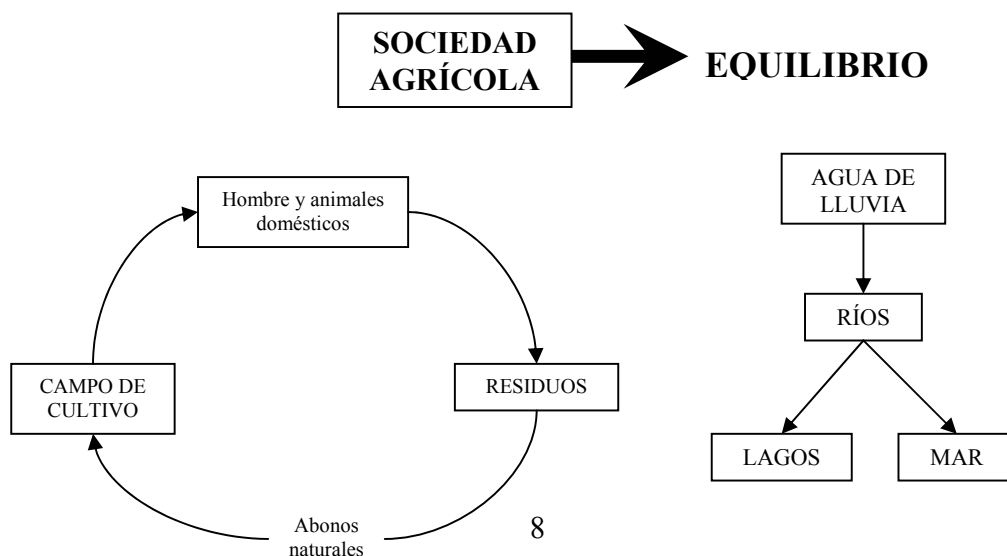
En una primera etapa, en una *sociedad agrícola*, el hombre gastaba muy poco agua por dos motivos principales; uno era que el agua por aquel entonces no estaba tratada para el consumo humano y la mayoría de las ocasiones no era potable; y otra es que se destinaba únicamente a cultivos y ganados pero de forma poco extensiva. Esta etapa era poco contaminante ya que los propios ciclos integraban los residuos y los reciclaban.

El problema vino con la revolución industrial en la que se pasó a un modelo de *sociedad industrial*. En esta época se dispara la demanda de agua ya que existen multitud de industrias que necesitan grandes caudales de agua.

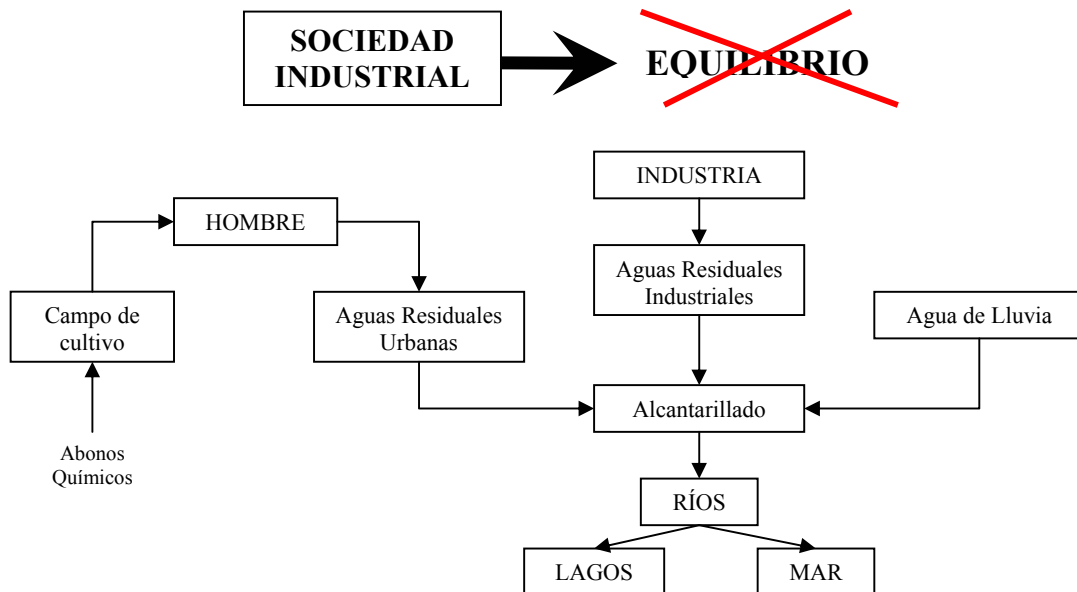
Producto industrial	Consumo de agua
1 kg fertilizante	600 kg
1 ton. cemento	3500 kg
1 ton. acero	300000 kg
1 ton. papel	380000 kg

Además en una sociedad industrial, tanto la actividad agrícola como la actividad ganadera son extensivas y tienen una gran demanda de agua, además de emitir contaminantes.

Hasta los años 60, se tomaba agua de los recursos naturales como ríos y lagos y se vertían los residuos en esos mismos recursos hasta que aparecieron las primeras especies animales muertas. A partir de los años 70 se comenzó a tomar medidas contra las industrias contaminantes; sin embargo, hasta el año 1982 no hubo una legislación.



Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes



En estos diagramas podemos observar como los recursos acuáticos en la sociedad agrícola quedaban fuera del ciclo de los residuos producidos, mientras que en la sociedad industrial los residuos desembocan en los mismos recursos naturales produciendo la contaminación de los mismos.

Hay que tener en cuenta que en la etapa de la sociedad agrícola los abonos eran naturales (residuos domésticos), mientras que en la época industrial aparecen los abonos químicos para potenciar los cultivos. Los residuos urbanos son la mayoría biodegradables, pero los residuos industriales acaban con las bacterias encargadas de la degradación de la materia orgánica, por lo que los residuos urbanos no pueden ser degradados. El problema de la contaminación de las aguas radica en la recogida conjunta de los residuos industriales y los residuos urbanos en el sistema de alcantarillado.

En Valencia no había, en un principio, un sistema de alcantarillado independiente de las acequias. Las aguas residuales se vertían en las acequias para expulsarlas al mar, esto provocaba que a la hora de regar los campos se contaminaban. Es de creación reciente un sistema de alcantarillado independiente de las acequias de riego.

La contaminación del agua está provocada por cualquier causa o condición que afecte negativamente a alguno de los usos que pudiera dársele a un agua en su estado natural.

Efectos de la contaminación del agua:

Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes

- Destrucción de recursos hidráulicos limitados.
- Disminución de la calidad del agua para uso público, de riego o industrial.
- Supresión del poder autodepurador de los cauces receptores, imposibilitando su utilización.
- Peligro para la salud pública.
- Interacción con los sistemas acuáticos, poniendo en peligro la vida marina.

3.5.1. Origen de la contaminación.

La contaminación del agua puede verse a factores naturales o a factores antropogénicos. Está claro que los problemas vienen por el impacto de estos últimos ya que los factores naturales entran dentro del ciclo del agua y son reciclados.

Según por su origen podemos clasificar los contaminantes como:

- Geológicos.
 - Erosión natural. Partículas en suspensión.
 - Sales en disolución.
- Urbanos o domésticos.
 - Vertido de residuos sólidos orgánicos (restos alimentos, heces, etc.)
 - Efluentes líquidos domésticos (jabones, detergentes, grasas).
 - Lavado de calles.
 - Alcantarillados, fosas sépticas, aguas negras.
- Agrícolas.
 - Residuos agrícolas.
 - Fertilizantes.
 - Pesticidas, fungicidas y plaguicidas.
- Industriales.
 - Metales pesados.
 - Residuos radioactivos.
 - Detergentes.
 - Aceites y petroquímicos.
 - Residuos sólidos.
 - Calor.
 - Plaguicidas.

Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes

3.5.2. Tipos de contaminantes según su naturaleza.

a) Contaminantes químicos.

Los contaminantes químicos se clasifican en contaminantes químicos orgánicos y contaminantes químicos inorgánicos.

a.1) Contaminantes químicos orgánicos.

Los componen los productos de descomposición, como los ácidos húmicos y fúlvicos, las proteínas, los carbohidratos, las grasas, los aceites, la urea, etc.; los detergentes; los fungicidas, herbicidas y pesticidas; y el petróleo, los aceites industriales y derivados.

Por materia orgánica entendemos la llamada biomasa (materia viva total) y los productos orgánicos de síntesis de la química del carbono.

Para detectar la materia orgánica contaminante se mide el déficit de oxígeno del agua tanto químico (DQO, indica el carbono orgánico total) como biológico (DBO, carbono orgánico biodegradable).

Actividad urbana

- Aguas negras.
- Residuos sólidos.
- Efluentes líquidos domésticos.
 - Jabones.
 - Detergentes.

Los productos debidos a la actividad urbana se depuran de manera biológica degradándose. Los componentes no biodegradables acaban en el agua como es el caso de los detergentes. Inicialmente se utilizaban jabones que eran sales sódicas de ácidos grasos como el esterato sódico ($C_{17}H_{35}COO^-Na^+$). Estos jabones basaban su acción limpiadora en la capacidad de emulsionar las grasas y a su propiedad de disminuir la tensión superficial del agua. Pero tenían una gran desventaja, reaccionan con cationes divalentes del agua como Ca^{+2} y Mg^{+2} .

Posteriormente se diseñaron detergentes, agentes sulfonados cuya estructura es la de alquilsulfonatos. Estos detergentes disminuyen la tensión superficial del agua y forman sistemas

Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes

micelares para eliminar la suciedad (suelen ser sustancias no solubles en agua) y mantenerla en suspensión. Los primeros detergentes de este tipo fueron los S.A.R. (sulfonatos alquílicos ramificados), pero pronto se observaron efectos no deseables que hicieron que se prohibieran. Estos efectos son:

- No son biodegradables.
- Provocan la defloculación de los coloides.
- Flotación de sólidos.
- Emulsionaban grasas dificultando su separación.
- Destrucción de las bacterias útiles.

Después se diseñaron los detergentes S.A.L. (sulfonatos alquílicos lineales) que sí son biodegradables. Composición de un detergente comercial:

- 10-20% de S.A.L.
- Polifosfatos (ahora se usan zeolitas).
- Carbonato sódico (intercambio de iones alcalinos).
- Silicatos sódicos (anticorrosivos).
- Agentes espumantes.
- Carboximetilcelulosa.
- Lejías y blanqueadores ópticos.
- Sulfato sódico

Los S.A.L. en las plantas de tratamiento de aguas serán mineralizadas por la acción de los procesos aerobios de tratamiento de lodos, aunque también puede hacerse en condiciones anaerobias, donde el producto final es el metano y utilizarlo como fuente de energía.

Actividad agrícola.

- Abonos orgánicos naturales. Mezcla de paja con excrementos (vaca, oveja).
- Productos fitosanitarios (no biodegradables).
 - Insecticidas. DDT (prohibidos por problemas de bioacumulación) y organoclorados.
 - Herbicidas.
 - Fungicidas.

Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes

Actividad industrial.

- Curtidos.
- Transformaciones alimentarias (contaminación por grasas, ya que producen procesos anaerobios que terminan secando las plantas).
- Industrias químicas, sobretodo la petroquímica.
- Industrias papeleras. Ceras, aglutinantes, celulosa, polietileno, aluminio, etc.
- Aceites, petróleos y derivados.

Se intenta paliar con el uso de detergentes y dispersantes, pero producen daños ocasionales. Recientemente se tratan mediante cepas bacterianas. Se puede dar dos tipos de degradación bacteriana:

- Fermentación aerobia: Se produce la oxidación total de los compuestos orgánicos. Generalmente se trata de microorganismos inofensivos que producen sustancias no ecotóxicas.
- Fermentación anaerobia: Se produce la oxidación parcial de la materia orgánica. Los microorganismos suelen ser peligrosos patógenos (en estas condiciones se transmiten las enfermedades por el agua) y los productos son ecotóxicos. El producto es el biogas que puede tratarse de ecotóxico pero sin embargo constituye una fuente de energía, aunque contiene SH_2 y NH_3 que al oxidarse en la combustión forma óxidos de nitrógeno y azufre que tienen un alto poder de corrosión.

Bacterias más importantes.

FAMILIA	BACTERIAS	
Patógenas	Salmonela Shigella Mycrobacterium	Fiebres tifoideas y paratifoideas Disentería Tuberculosis
Indicadoras	Escherichia Enterobacterias Streptococcus Clostridium	
Biodegradación	Pseudomonas Flavobacterium Zoglea Clostridium Micrococcus Methanobacterium Methanococcus Methanosarcina	Degradan materia orgánica Degrada proteínas Forman flóculos en las plantas de lodos activados Forman ácidos grasos a partir de materia orgánica en digestor anaerobio. Producen CH_4 a partir de ácidos grasos en un digestor anaerobio

Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes

Nitrificantes	Nitrobacterias Nitrosomonas	Oxidán compuestos nitrogenados inorgánicos
Desnitrificantes	Bacillus Pseudomonas	Reducen nitratos y nitritos a N_2 ó a Óxido Nitroso
Fijadoras de N_2	Azobacter Beifeinckia	Fijan el N_2 a NH_3
Sulfurosas	Thiobacillus	Oxidán el azufre y el hierro.
Reductoras de sulfatos	Desulfovibrio	Intervienen en la corrosión de las tuberías de hierro
Fotosintéticas	Chlorobium Chromatium	Reducen los sulfuros a azufre elemental
Férricas filamentosas	Sphaerotilus	Dan volumen a los lodos en las plantas de lodos
Oxidantes del Fe	Leptothix	Oxidán el FeO a Fe_2O_3

Es necesario desinfectar el agua que ha sido tratada biológicamente porque, aunque los microorganismos del tratamiento no sean patógenos, al morir sirven de alimento a microorganismos más resistentes que suelen ser patógenos. La forma más corriente de desinfección de aguas es la cloración por la adición de hipoclorito, que deja una cantidad de cloro en el agua que no se elimina y que sirve para acabar con los microorganismos. Un agua con alto contenido en cloruros indica que ha sido reutilizada muchas veces y acumula el cloro de cada desinfección que ha sufrido esa agua.

Productos de la degradación de materia orgánica.

Materia orgánica	Cond. Aerobias	Cond. Anaerobias
C	$CO_2/CO_3^{=}$	CH₄
N	NH_3, NO_2^-, NO_3^-	NH₃
S	$SO_4^{=}$	SH₂
H	H_2O	NH₃
P	PO_4^{3-}	HP₃

a.2) Contaminantes químicos inorgánicos.

Metales pesados.

Tiene origen en la actividad industrial y urbana.

Mercurio	Níquel	Tienen carácter acumulativo, es decir, las consecuencias en los seres vivos se hacen notables al cabo del tiempo (años)
Arsénico	Cromo	
Cobre	Cadmio	
Zinc	Plomo	
Berilio		

Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes

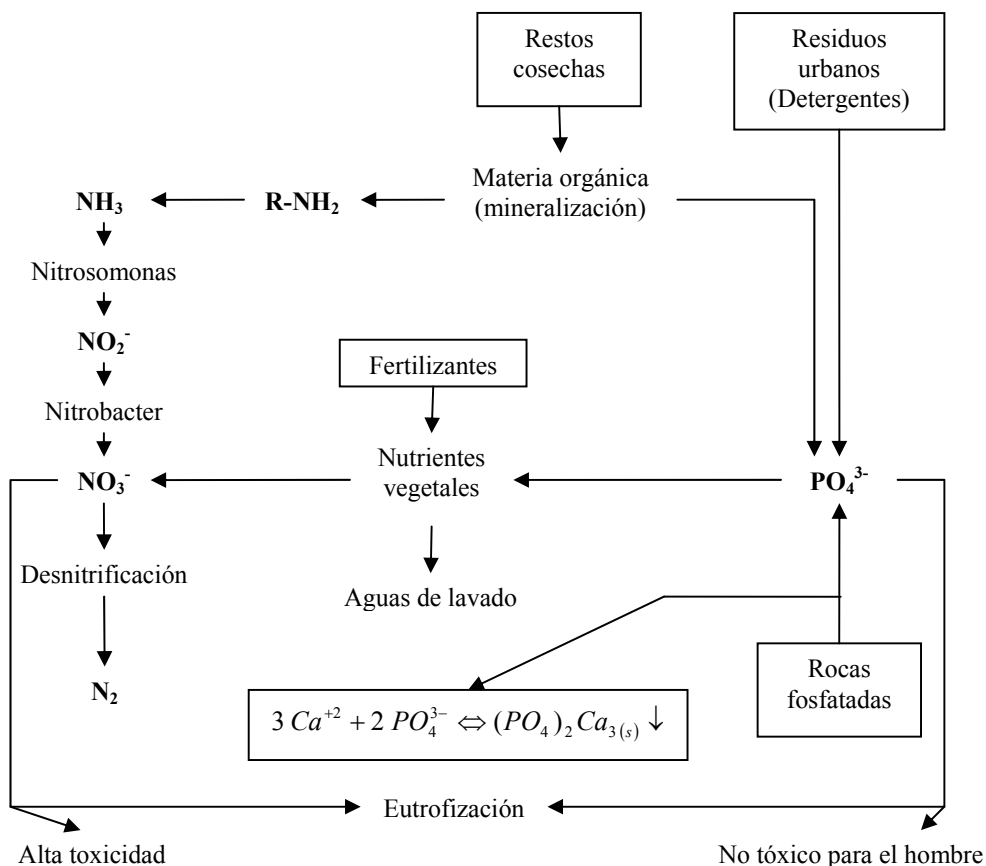
Mercurio: Proviene de la filtración del suelo a los acuíferos, de las plantas electroquímicas (cloro-álcali) y de las lámparas de gases de mercurio de media presión. Los compuestos más contaminantes son el monometilmercurio (CH_3Hg^+), que proviene del mar en forma de sal y se acumula en el tejido graso de los peces, y el dimetilmercurio ($(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$) que es muy volátil. El mercurio se acumula en el hígado y en el cerebro.

Plomo: La fuente principal era el tetraetilplomo, componente de las gasolinas que permanecía en la atmósfera y era arrastrado por el agua de lluvia terminando en las aguas residuales. También hay industrias que lo usan como en las pinturas (minio y sulfato de plomo) y en el vidrio (óxidos de plomo), y en las baterías de los automóviles. Provoca alteraciones en el sistema nervioso, óseo y muscular (*Saturnismo*).

Sales inorgánicas.

Aniones	NO_3^-	(Agrícola)	Cationes	Ca^{+2}	(Geológico)
	PO_4^{3-}	(Agrícola, geológico, urbano)		Mg^{+2}	
	Cl^-	(intrusión marina)			

Nitratos y fosfatos:



Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes

Eliminación de iones nitrados de los recursos hídricos:

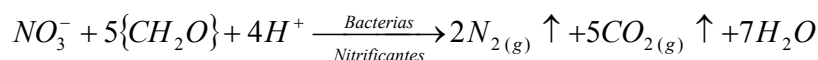
Ion amonio:

- Basificando el medio:
$$NH_4^+ + OH^- \Leftrightarrow NH_{3(g)} \uparrow + H_2O$$
- Por medio de zeolitas intercambiadoras de cationes con contraión Na^+ . Cuando se ponen en contacto con aguas amónicas, se intercambia el ion sódico con el amonio formándose la zeolita amónica a expensas que el agua se enriquece de sodio. La zeolita se puede recuperar tratándola con $NaCl$ o con una sal de calcio soluble.
- Por medio de bacterias:
$$2NH_4^+ + 3O_2 \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} 4H^+ + 2NO_2^- + 2H_2O$$

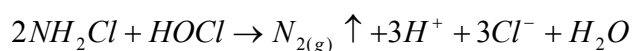
$$2NO_2^- + O_2 \xrightarrow{\text{Nitrobacterias}} 2NO_3^-$$

Nitratos:

- Eliminación en aguas cargadas de contaminación orgánica. Esta eliminación se lleva a cabo por medio de bacterias y la adición de carbohidratos en medio ácido, que servirán de alimento para las bacterias.



- Proceso de cloración (en plantas de potabilización). Las cloraminas son sustancias desinfectantes y se forman en aguas ricas en amonio al ser tratadas con una cloración. No son deseables estas sustancias porque dan sabor al agua:



El problema es que se saliniza mucho el medio, pues se carga de Cl^-

Cloruros:

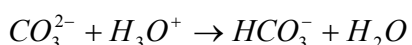
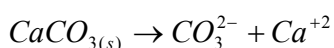
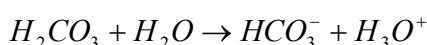
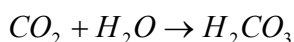
El nivel de toxicidad es muy bajo, pero si es muy elevada su concentración hace al agua salobre, no apta para el consumo. La salinidad del agua se mide con la concentración de cloruros en disolución. Una conductividad alta indica una concentración de cloruros alta. Es un problema porque corroe las tuberías y la hace inútil para los procesos industriales. Tampoco es útil un agua salobre para el riego porque seca las plantas por ósmosis.

Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes

Calcio y magnesio:

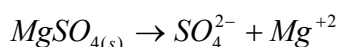
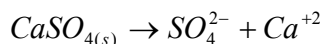
Estos cationes constituyen la dureza del agua. Su origen es geológico, cuando la corriente de agua transcurre por rocas ricas en calcio o magnesio, éstos se disuelven en el agua. Hay varios tipos de dureza, dependiendo del contraión que acompañe a los cationes metálicos:

- Dureza temporal: Cuando el contraión es el carbonato o el bicarbonato. En este caso, cuando el agua hierve se eliminan el Ca^{+2} y el Mg^{+2} por precipitación en forma de carbonatos, que son fáciles de eliminación con la acción de un ácido débil (acético):



Al calentar el agua eliminamos CO_2 desplazando el equilibrio. Si disminuye el CO_2 , disminuye el H_3O^+ , aumenta el HCO_3^- , aumenta el CO_3^{2-} y aumenta el $\text{CaCO}_{3(s)}$

- Dureza permanente: El contraión es el sulfato. El agua transcurre por terrenos Kársticos. Cuando aumenta la temperatura, la solubilidad disminuye por lo que precipita el CaSO_4 , pero como el sulfato es una base muy débil no se puede eliminar con ácidos.



En los procesos de lavado con detergentes, los sulfonatos de alquilo precipitan con los iones calcio y magnesio y pierden eficacia. Actualmente los detergentes suelen contener polifosfatos que anulan los iones metálicos.

Componentes de la lluvia ácida.

Principalmente los ácidos sulfúrico y nítrico que disminuyen el pH del agua hasta 3'5, lo que facilita la redisolución de los $\text{Al}(\text{OH})_3$ y las sales con bases débiles cuando el agua transcurre por la tierra rocosa. De esta forma aumenta la concentración de cationes metálicos en el agua (**Cu, Fe, Ca, Mg, Al**, etc.) suponiendo que no transcurre por zonas mineras.

Nutrientes.

Son elementos químicos esenciales para llevar a cabo el metabolismo de los vegetales. Los más importantes son los de carácter contaminante (**N** y **P**). Para conocer su presencia, se valora la presencia de las especies NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , etc.

Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes

Salinidad.

Parámetro muy utilizado en estudios de medio ambiente. Los principales iones son Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- .

Se puede medir de varias formas:

- Conductividad.
- Dureza total y dureza temporal.
- Alcalinidad, acidez y pH.
- Residuo soluble seco inorgánico (arenas y arcillas).
- Iones específicos (Cl^-).

b) Contaminantes físicos.

Residuos sólidos.

Todas aquellas partículas arrastradas por el agua y que pueden ser eliminadas por sedimentación, arrastradas en épocas de lluvias y por la erosión del suelo por el agua. Suelen tener tamaños variables (arcillas y arenas).

Contaminación térmica.

El aumento de la temperatura disminuye la solubilidad del O_2 en el agua. Tiene su origen en la actividad industrial usando el agua como sistema refrigerador. Cada 10° que aumenta la temperatura del agua, la velocidad de las reacciones químicas se duplican. A temperaturas moderadamente altas aparecen los microorganismos.

Contaminación radiactiva.

Suele producirse por fugas en los accidentes de las centrales nucleares. Otra fuente de radiación es el empleo de las fosas marinas como vertederos nucleares.



Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes

c) Contaminantes biológica.

La contaminación biológica consiste en la presencia de bacterias y virus, responsables de la transmisión de enfermedades infecciosas. Las bacterias transmiten el cólera y las fiebres tifoideas y para tifoideas mientras que los virus transmiten enfermedades como la hepatitis infecciosa.

El origen de esta contaminación puede centrarse en los pozos negros que llegan a las aguas naturales por filtraciones en el suelo.

Como es lógico, la presencia de estos microorganismos hace que el agua no sea apta para el consumo humano si no sufre un tratamiento de desinfección.

Enfermedades

Virus	Cólera Tifus Disenterías Gastroenteritis	Bacterias	Hepatitis Conjuntivitis Poliomelitis	Gusanos	Teniasis Ascariasis	Protozoos	Amebiasis
-------	---	-----------	--	---------	------------------------	-----------	-----------

3.6. Indicadores químicos de la contaminación del agua

3.6.1. Contenido en oxígeno.

El oxígeno se encuentra disuelto en el agua en forma de oxígeno molecular (O_2) según estas leyes:

- Ley de Henry. Que relaciona la concentración de oxígeno en el aire (presión parcial) con la concentración de oxígeno en disolución a través de una constante. A mayor presión parcial, más oxígeno disuelto.

$$P_{O_2} = H \cdot [O_2]_{ac}$$

- Ley de Clausius-Clapeyron. Relaciona la concentración de oxígeno disuelto con la temperatura del medio. A mayor temperatura, menor concentración de oxígeno en el agua.

$$\ln P_{V_{O_2}} = A + \frac{B}{C + T}$$

- Ley de Sechenov (empírica). Relaciona la concentración de oxígeno disuelto en el agua con la concentración de sales inorgánicas disueltas en el agua, de tal modo que cuanto mayor es la cantidad de sales en el agua, la concentración de oxígeno es menor, es decir, en aguas contaminadas el oxígeno disuelto es poco.

Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes

Las fuentes de oxígeno en agua son la atmósfera, la acción fotosintética de las plantas acuática y las fuentes ocasionales como el desprendimiento de oxígeno molecular en la desnitrificación de nitratos en agua.

El oxígeno disuelto en el agua es consumido por los microorganismos (bacterias aerobias) en el proceso de metabolismo, es decir en la mineralización de la materia orgánica del agua por medio de una fermentación aerobia.

Se puede determinar la cantidad de oxígeno en el agua con técnicas potenciométricas (oxímetro, que es un electrodo de membrana) que mide el potencial entre el oxígeno molecular del agua y el oxígeno en estado de oxidación -2 del electrodo y que por medio de la ley de Nerst podemos calcular la concentración de oxígeno molecular en agua.

3.6.2. Materia orgánica.

Los análisis que se realizan al agua para determinar la cantidad de materia orgánica en el agua son la DBO y la DQO.

DQO (Demanda química de oxígeno).

Determina la cantidad de oxígeno que se necesita para llevar al máximo grado de oxidación todas las sustancias presentes en el agua, tanto la materia orgánica biodegradable como la materia orgánica no biodegradable. Los cloruros son sustancias que enmascaran los resultados de la DQO porque se oxida también. Para evitarlo se utiliza una sal de Mercurio para acomplejar a los cloruros. La DQO se mide en mg de O_2 consumido por litro de agua.

DBO (Demanda biológica de oxígeno).

Es una técnica que simula una situación semejante a la oxidación de la materia orgánica degradable en condiciones naturales por parte de los microorganismos. Se determina colocando una muestra de agua en una cámara oscura con medidor de oxígeno en el aire; se deja la muestra durante 5 días a temperatura constante y todo el oxígeno consumido que haya disminuido en ese tiempo ha sido utilizado por las bacterias para mineralizar la materia orgánica. La DBO se mide en las mismas unidades que la DQO, en mg de O_2 consumido por litro de agua. Los resultados de la DBO son falseados por la presencia de nitratos (porque producen oxígeno y nitrógeno) y los metales pesados. En condiciones normales la DQO debe ser superior a la DBO, aunque hay factores que pueden alterar los resultados como ya hemos visto.

Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes

3.6.3. Salinidad.

Refleja la cantidad de iones que contiene el agua. Se determina por conductividad, ya que hay relación entre la conductividad del agua y el contenido total de iones. Los electrodos más utilizados son los electrodos de Platino. También se mide la dureza total y la dureza temporal.

La dureza total se mide en grados hidrotimétricos franceses (°f) cuya equivalencia es de 1 °f es igual a 10 mg/l de CO_3Ca . La valoración se lleva a cabo por medio de una compleximetría entre EDTA y los cationes Ca^{+2} y Mg^{+2} y cromato como indicador.

La dureza temporal se valora por medidas de alcalinidad utilizando **HCl** y fenolftaleína.

3.7. Tratamiento de agua para el consumo humano

El agua se puede tratar para el consumo o también se pueden tratar las aguas negras. En nuestro caso estudiaremos el tratamiento de agua para el consumo humano.

Los abastecimientos de agua para poblaciones son muy variadas, si se trata de una ciudad grande, el abastecimiento se realiza de ríos o lagos; si por el contrario se trata de una ciudad pequeña, el abastecimiento de agua se realiza a través de pozos de agua (agua subterránea). Las plantas potabilizadoras son las plantas destinadas al tratamiento y acondicionamiento de esta agua.

El tratamiento general que se les da a las aguas de abastecimiento humano es:

- Eliminación de materia en suspensión.
- Aireación.
- Ablandamiento.
- Desalinización.
- Neutralización
- Desinfección.

Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes

3.7.1. Eliminación de materia en suspensión.

Esta operación está destinada a retirar todas aquellas partículas más o menos grandes que contiene el agua además de la eliminación de los coloides.

Para deshacerse de las partículas más grandes se utiliza un sistema de enrejados y filtros que eliminan casi en sus totalidad la cantidad de partículas. Para la eliminación de coloides se utiliza el proceso de floculación y coagulación de coloides.

Los coloides son partículas (suelen ser arcillas) que tienen carga negativa en su superficie, lo que hace que se establezcan fuerzas electrostáticas de repulsión entre los coloides impidiendo su sedimentación. Los coagulantes y floculantes son cationes pequeños que establecen fuerzas electrostáticas de atracción con la superficie de los coloides rompiendo las fuerzas de repulsión de los coloides, por lo que el coloide es vencido por la fuerza de la gravedad y sedimenta. Los hidróxidos de los metales precipitan a pH altos, por lo que hay que añadir una base (sosa) para basificar. El control de pH en una planta depuradora se hace en continuo.

A veces se utilizan sustancias coadyuvantes. Se trata de un polielectrolito catiónico (polímero orgánico con grupos cargados, generalmente NH_4^+ , en su estructura). Estas sustancias provocan la desestabilización coloidal, rodeando la superficie del coloide con los grupos catiónicos y dejando la cadena orgánica hacia el exterior, lo que hace que el flóculo sedimente rápidamente.

Algunas plantas cloran antes de esta eliminación. Es una operación poco recomendable ya que se forman compuestos organoclorados que son más contaminantes todavía, son los llamados trihalometanos (THM), en Valencia la concentración de estas sustancias es baja 60 ppb, mientras que la recomendación europea prohíbe concentraciones superiores a 100 ppb.

3.7.2. Aireación.

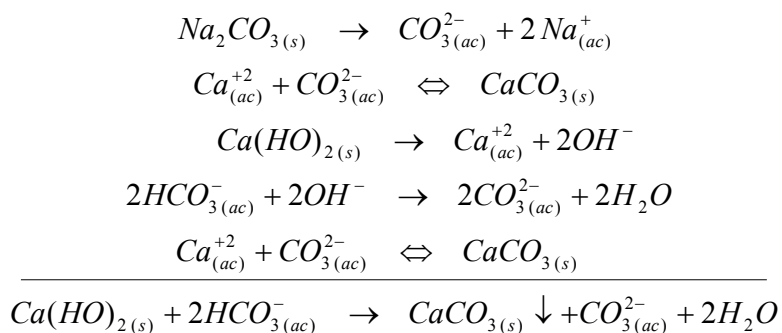
Operación consistente en la oxidación parcial de los contaminantes del agua por medio de una corriente de aire, simplemente para eliminar malos olores y sustancias volátiles.

3.7.3. Ablandamiento.

Supone la eliminación de los cationes Ca^{+2} y Mg^{+2} . Se utiliza el método de la cal y la sosa, es decir, tratar el agua con lechadas de cal y lavar con sosa.

Unidad 3: El agua en su medio natural y contaminantes

Lo que hacemos añadiendo la cal apagada (Ca(OH)_2) es aumentar la concentración de OH^- en el agua que reaccionan con el bicarbonato transformándolo en carbonatos. Al aumentar la concentración de carbonatos y de cationes de calcio se produce la precipitación del carbonato cálcico (siempre que el producto iónico del carbonato y el calcio sea mayor que el K_{ps} del carbonato cálcico).



Este es el proceso de ablandamiento del agua por medio de lechadas de cal.