

TEMA 3. LA ATMÓSFERA

ÍNDICE:

1.- ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN QUÍMICA Y PROPIEDADES FÍSICAS.

- 1.1.- Introducción.
- 1.2.- Composición química de la atmósfera.
 - 1.2.2.- Homosfera y Heterosfera.
 - 1.3.1.- Presión atmosférica: concepto, unidad de medida e isobara.
 - 1.3.2.- Temperatura: variación de la temperatura en función de la altitud.
- 1.3.- Propiedades físicas de la atmósfera.
- 1.4.- Estructura de la atmósfera. Las capas y sus propiedades básicas.

2.- FUNCIÓN REGULADORA Y PROTECTORA DE LA ATMÓSFERA.

- 2.1.- El balance de radiación solar.
- 2.2.- Función protectora: la atmósfera como filtro protector.
- 2.3.- Función reguladora del clima: variaciones del albedo, efecto invernadero y circulación general del aire.

3.- INVERSIONES TÉRMICAS. CONCEPTO Y DESARROLLO.

4.- CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.

- 4.1.- Concepto.
- 4.2.- Fuentes: natural y antrópica.
- 4.3.- TIPOS DE CONTAMINANTES.
 - 4.3.1.- Primarios.
 - 4.3.1.1.- Partículas
 - 4.3.1.2.- Compuestos de azufre
 - 4.3.1.3.- Compuestos de nitrógeno
 - 4.3.1.4.- Óxidos de carbono
 - 4.3.1.5.- Hidrocarburos
 - 4.3.1.6.- Compuestos halogenados y sus derivados
 - 4.3.1.7 Metales pesados
 - 4.3.1.8.- Ruido
 - 4.3.1.9.- Radiaciones ionizantes
 - 4.3.2.- Secundarios.
 - 4.3.2.1.- Anhídrido sulfúrico (SO_3) y ácido sulfúrico (H_2SO_4)
 - 4.3.2.2.- Trióxido de nitrógeno (NO_3)
 - 4.3.2.3.- Nitrato de peroxiacetileno (PAN)
 - 4.3.2.4.- Ozono troposférico (O_3)

4.4.- DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES. EMISIÓN E INMISIÓN.

- 4.4.1.- Factores que influyen en la dinámica de dispersión: Características de las emisiones, condiciones atmosféricas, características geográficas y topográficas.

4.5.- EFECTOS DE LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES.

4.6.- DETECCIÓN, PREVENCIÓN Y CORRECCIÓN.

- 4.6.1.- Detección: redes de estaciones de vigilancia e indicadores biológicos de contaminación (líquenes).
- 4.6.2.- Prevención.
- 4.6.3.- Corrección.

5.- LA LLUVIA ÁCIDA.

6.- EL "AGUJERO" DE LA CAPA DE OZONO.

7.- AUMENTO DEL EFECTO INVERNADERO.

8.- EL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL.

9.- LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA REGIÓN DE MURCIA.

- 1.- Partículas menores de $10 \mu\text{m}$ (PM10)
- 2.- Dióxido de nitrógeno (NO_2)
- 3.- Ozono troposférico (O_3)
- 4.- Dióxido de azufre (SO_2)

TEMA 3. LA ATMÓSFERA

1.- ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN QUÍMICA Y PROPIEDADES FÍSICAS.

1.1.- INTRODUCCIÓN.

La atmósfera es una capa fluida de unos 10.000 km, (según autores), que rodea la Tierra, formada por gases, líquidos y sólidos en suspensión, cuyos primeros 15 km concentran el 95% de su masa⁽¹⁾.

Como consecuencia de la compresibilidad de los gases y de la atracción gravitatoria terrestre, la mayor parte de la masa de la atmósfera se encuentra comprimida cerca de la superficie del planeta, de tal manera que en los primeros 15 km se encuentra el 95% del total de su masa. Sin embargo, las proporciones de los diferentes gases, lo que coloquialmente se conoce como aire, se mantienen casi inalterables hasta los 80-100 km de altitud (homosfera), el resto tienen una composición más variable (heterosfera). El límite superior de la atmósfera se estima alrededor de los 10.000 km de altura donde la concentración de gases es tan baja (prácticamente despreciable) que se asemeja a la del espacio exterior, aunque algunos autores ponen el límite en 30.000, otros 40.000.

Además de los gases, en la composición de la atmósfera también aparecen líquidos (agua líquida en las nubes) y sólidos como polen, esporas, polvo, microorganismos, sales, cenizas y agua sólida en las nubes formando minúsculos cristales de hielo.

1.2.- COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ATMÓSFERA.

1.2.1.- Componentes mayoritarios y minoritarios.

Mayoritarios: son aquellos que están en mayor proporción en el aire: nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2), argón (Ar), vapor de agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2). Minoritarios: son todos los componentes restantes que aparecen en cantidades muy pequeñas, medidos en partes por millón.

1.2.2.- Homosfera y Heterosfera.

Hasta los primeros 80-100 km la composición del aire es homogénea, manteniéndose las mismas proporciones en los gases (aunque lógicamente la concentración de gases decrece), llamándose a esta capa homosfera; a partir de esta altura la composición varía habiendo gases que predominan según una altura determinada, llamándose a esta capa heterosfera.

Composición media del aire seco de la homosfera.

- Nitrógeno (N_2) 78,083%
- Oxígeno (O_2) 20,945%
- Argón (Ar) 0,934%
- Dióxido de carbono (CO_2) 0,035%

⁽¹⁾ Al irse enfriando la superficie del planeta, la atmósfera primitiva se desgasificó, las sustancias vaporizadas condensaron o sublimaron a sólido, grandes cantidades de polvo y gases fueron emitidas por los volcanes; y los seres vivos, a lo largo del tiempo, aportaron enormes cantidades de O_2 disminuyendo la concentración de CO_2 hasta convertirla en lo que hoy conocemos como "atmósfera".

TEMA 3. LA ATMÓSFERA

- Otros: Neón (Ne), Helio (He), Criptón (Kr), Hidrógeno (H_2), Xenón (Xe), metano (CH_4), Ozono (O_3), óxidos de
- Nitrógeno (NO_x), etc. 0,003%

A esto habría que añadir el vapor de agua, que no se ha puesto porque varía mucho de unas zonas (4%) a otras (1%).

Composición de la heterosfera.

GAS PREDOMINANTE	ALTITUD
Capa de Nitrógeno molecular (N_2)	Entre 100 y 200 Km
Capa de Oxígeno atómico (O)	Entre 200 y 1000 Km
Capa de Helio (He)	Entre 1.000 y 3.500 Km
Capa de Hidrógeno atómico (H)	A partir de 3.500 Km

Obsérvese como a mayor altura el gas predominante es más ligero (menor masa atómica)

1.3.- PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ATMÓSFERA.

1.3.1.- Presión atmosférica: concepto, unidad de medida e isobara.

Es el peso ejercido por la masa de aire atmosférico sobre la superficie terrestre. Casi la totalidad de la masa de la atmósfera se encuentra en los primeros kilómetros por encima de la superficie terrestre (debido a la fuerza de atracción gravitatoria sobre los gases), por lo que la presión atmosférica disminuye rápidamente con la altura, por ejemplo en los primeros 5 km de altura se encuentra el 50% de su masa y a los 15 km de altura se encuentra el 95% de su masa.

El valor de esta presión se mide con el barómetro. A nivel del mar es 1 atmósfera o 1.013 milibares, y es equivalente al peso de una columna de mercurio de 760 mm de altura y un cm^2 de base. En los mapas meteorológicos, la presión atmosférica suele representarse mediante las isobaras, que son líneas que unen los puntos de igual presión.

1.3.2.- Temperatura: variación de la temperatura en función de la altitud.

El aire de la troposfera se calienta a partir del calor emitido por la superficie terrestre. La temperatura es máxima en la superficie terrestre, alrededor de 15 °C de media, y a partir de ahí comienza a descender con la altura según un Gradiente Térmico Vertical (GTV) de 6,5 °C de descenso cada km que se asciende en altura (o sea -0,65 °C cada 100m) hasta llegar a -70 °C a 12 km de altura. A partir de aquí, la temperatura asciende con la altura hasta llegar próximo a los 0 °C a 50 km de altura, a causa de la absorción por el ozono de la radiación solar ultravioleta. De los 50 a los 80 km de altura, la temperatura vuelve a disminuir hasta alcanzar los -140 °C. Desde donde vuelve a aumentar por la absorción de las radiaciones de alta energía, pudiendo alcanzar más de 1.000 °C a unos 600 km de altura, desde los que la baja densidad de gases impide la transmisión del calor y ya no podemos hablar de temperatura⁽²⁾.

⁽²⁾ El calor es el paso de energía de un cuerpo que está a más temperatura a otro cuerpo que está a menor temperatura.

TEMA 3. LA ATMÓSFERA

1.4.- ESTRUCTURA DE LA ATMÓSFERA. LAS CAPAS Y SUS PROPIEDADES BÁSICAS.

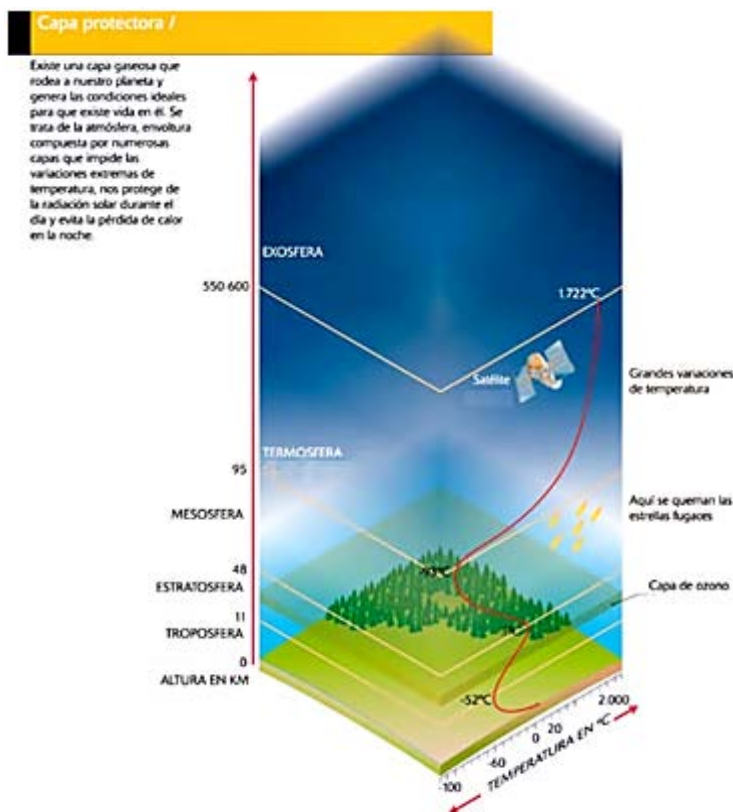
La atmósfera está dividida según las variaciones en la temperatura en una serie de capas superpuestas que de abajo a arriba son las siguientes:

Troposfera: Su espesor varía entre los 9 km sobre los polos y los 18 km sobre el ecuador, siendo su altura media 12 km. Contiene la mayoría de los gases de la atmósfera y prácticamente todo el vapor de agua atmosférico. A los 500 metros iniciales se les denomina capa sucia, porque en ellos se concentra el polvo en suspensión procedente de los desiertos, los volcanes y la contaminación, que actúa como núcleo de condensación para el vapor de agua atmosférico a agua líquida, y da lugar a la lluvia. Hay importantes flujos convectivos de aire, verticales y horizontales, producidos por las diferencias de presión y temperatura que dan lugar a los fenómenos meteorológicos (precipitaciones, viento, nubes). El aire de la troposfera se calienta a partir del calor emitido por la superficie terrestre, siendo su temperatura máxima en su parte inferior, en torno a 15 °C por término medio, enfriándose con la altura según un Gradiente Térmico Vertical (GTV) de 6,5 °C de descenso cada km que se asciende en altura hasta llegar a -70 °C en su límite superior: la tropopausa.

Estratosfera: Se extiende desde la tropopausa hasta los 50 km de altura, y en ella se genera la mayor parte del ozono atmosférico, que se concentra entre los 15 y 30 km de altura, llamándose a esta zona, capa de ozono u ozonfera. La absorción por el ozono de la radiación solar ultravioleta determina que la temperatura ascienda con la altura hasta llegar próximo a los 0 °C en su límite superior, la estratopausa. Así pues, esta capa actúa como pantalla protectora frente a los perjudiciales rayos ultravioleta, y dentro de ella hay movimientos horizontales de aire, pero no verticales como sucede en la troposfera.

Mesofera: Alcanza los 80 km de altura. La temperatura disminuye hasta los -140 °C en su límite superior llamado mesopausa. Algunos autores dicen que en esta capa se desintegran los meteoritos por el rozamiento con las partículas de la mesofera produciéndose las llamadas estrellas fugaces, pero otros responsabilizan de este fenómeno a la termosfera donde se alcanzan temperaturas muy altas.

Termosfera o ionosfera: Llega hasta los 600 u 800 km de altura, la absorción de las radiaciones solares de alta energía (rayos gamma, rayos X y parte de la radiación ultravioleta) determina que la mayor parte de su contenido, oxígeno y nitrógeno atómicos, estén ionizadas (cargados positivamente) por la pérdida electrones, que originan campos eléctricos en toda la capa. En ella rebotan las ondas de radio y televisión usadas en telecomunicaciones, y su temperatura aumenta hasta alcanzar más de 1000 °C⁽³⁾ en su límite superior denominado termopausa. La



⁽³⁾ La baja densidad de gases hace que esta temperatura realmente no signifique mucha energía

TEMA 3. LA ATMÓSFERA

interacción del viento solar con el contenido de esta capa da lugar a las auroras polares⁽⁴⁾, (boreal en el norte y austral en el sur), generalmente visibles cerca de ellos.

Exosfera: Se extiende hasta unos 10.000 km, según autores. Su densidad es tan baja, que se confunde con la del espacio exterior (casi vacío), por lo que en ella, el cielo se oscurece al carecer prácticamente de materia que pueda absorber, y así poner de manifiesto la luz⁽⁵⁾.

2.- FUNCIÓN REGULADORA Y PROTECTORA DE LA ATMÓSFERA.

2.1.- EL BALANCE DE RADIACIÓN SOLAR.

De toda la radiación solar recibida, un 30% vuelve al exterior reflejada (albedo) por las nubes, superficie terrestre y atmósfera (gases, polvo, etc.), otro 25 % es absorbido por ella, - capa de ozono (3%), vapor de agua y partículas del aire (17% ambos) y las nubes (5%)-, y el 45% restante es absorbido por la superficie terrestre (océanos > continentes).

Puesto que la Tierra únicamente intercambia energía con el exterior por radiación (no hay conducción ni convección con el espacio exterior), y su temperatura media es constante en el tiempo, el balance entre la radiación entrante (solar) y la radiación saliente (terrestre), ha de ser necesariamente nulo. Así, la radiación atmosférica absorbida (tanto de origen solar como terrestre) acaba siendo devuelta en la misma medida a la tierra y al espacio en forma de radiación de onda larga, aunque con mayor o menor retraso por el efecto invernadero. Igualmente, la radiación absorbida por la superficie terrestre también será devuelta a la atmósfera en forma de calor latente de vaporización > onda larga > conducción directa, con determinado retraso.

2.2.- FUNCIÓN PROTECTORA: LA ATMÓSFERA COMO FILTRO PROTECTOR.

Debido a la absorción selectiva de las radiaciones de diferentes longitudes de onda que nos llegan del Sol, la atmósfera presenta diferentes gradientes de temperatura en sus diferentes capas.

Así pues, en la ionosfera se absorben las radiaciones de onda corta y alta energía (rayos X, rayos gamma y parte de la radiación ultravioleta), todas ellas muy perjudiciales para la vida; y en la ozonósfera, gran parte de la radiación ultravioleta⁽⁶⁾.

⁽⁴⁾ La magnetosfera es una región del espacio alrededor de la Tierra que comienza a unos 500 km de altitud por encima de la ionosfera y se prolonga mucho más lejos que la exosfera, a unos 60.000 km de altitud en la dirección del Sol y mucho más lejos en el sentido contrario; en la que el campo magnético terrestre forma un escudo protector contra el viento solar (flujo de partículas, mayormente protones emitidos desde la atmósfera solar) y las radiaciones más peligrosas, como los rayos gamma y rayos X solares, lo que constituye una condición que posibilita la existencia de vida en nuestro planeta. En las inmediaciones de los polos, guía el viento solar hacia la atmósfera, produciendo esta interacción en las capas altas.

⁽⁵⁾ La poca densidad hace imposible medir la temperatura y ésta no se puede propagar, con lo que carece de sentido hablar de temperatura en esta capa.

⁽⁶⁾ Al entrar en la troposfera ya se ha absorbido toda la radiación del espectro electromagnético menor de 290 micras de longitud de onda y la composición es 9% ultravioleta, 41% visible y 50% infrarroja.

TEMA 3. LA ATMÓSFERA

Las radiaciones correspondientes al espectro visible atraviesan la atmósfera y alcanzan la superficie terrestre, por lo que deducimos que es casi transparente a dichas radiaciones y no experimenta calentamiento apreciable al ser atravesada por ellas. Sin embargo, las radiaciones infrarrojas y las de menor energía, son absorbidas por el CO₂ y el vapor de agua atmosféricos y ocasionan un aumento de la temperatura.

2.3.- FUNCIÓN REGULADORA DEL CLIMA: VARIACIONES DEL ALBEDO, EFECTO INVERNADERO Y CIRCULACIÓN GENERAL DEL AIRE.

Durante el día la atmósfera refleja (albedo) y absorbe parte de la radiación solar y terrestre (infrarroja), sobrecalentándose ella y evitando así el sobrecalentamiento de la superficie del planeta. Durante la noche devuelve como contrarradiación (efecto invernadero), el calor acumulado durante el día evitando que la superficie del planeta se enfríe bruscamente. Finalmente, la circulación del aire tiende a compensar los desequilibrios de temperatura originados por la diferente insolación en distintas zonas del planeta.

Albedo: Determina que alrededor del 30% de la radiación visible incidente que llega a la troposfera sea reflejada por las nubes, polvo, hielo, nieve, y suelo desértico. Un incremento del albedo produce un enfriamiento⁽⁷⁾.

Efecto invernadero: La radiación visible incidente que llega al suelo y es absorbida causa momentáneamente su calentamiento, y posteriormente será re-emitida a la atmósfera como radiación infrarroja, donde será absorbida por el CO₂ y el vapor de agua, principalmente, calentándola. A éste fenómeno se conoce como efecto invernadero.

Circulación general del aire: La energía solar que llega a la Tierra es redistribuida disminuyendo las diferencias de temperatura entre la zona ecuatorial y latitudes más altas gracias a la circulación general del aire, junto con los grandes sistemas de vientos, huracanes y ciclones⁽⁸⁾.

3.- INVERSIONES TÉRMICAS. CONCEPTO Y DESARROLLO.

En la troposfera la temperatura disminuye con la altura (GTV= ↓ 0,65 °C/ 100m), de modo que en la parte más baja el aire es más cálido y menos denso, y tiende a ascender, mientras que en la parte más alta ocurre lo contrario, formándose un bucle que acelera ambas corrientes.

Sin embargo, en la troposfera, a veces, aparecen zonas en las que la temperatura aumenta con la altura, - *perturbaciones en el GTV*-, este hecho se conoce como inversión térmica, e impide el ascenso del aire situado abajo (más frío y por tanto más denso), por lo que el aire de la zona queda estancado, y su ventilación es, consecuentemente nula, produciéndose una acumulación de la contaminación en ella. Este efecto es particularmente frecuente en invierno, ante situaciones fuertemente anticiclónicas, que impiden el ascenso del aire, concentrando la humedad a poca altura, y dando lugar a nieblas y heladas.

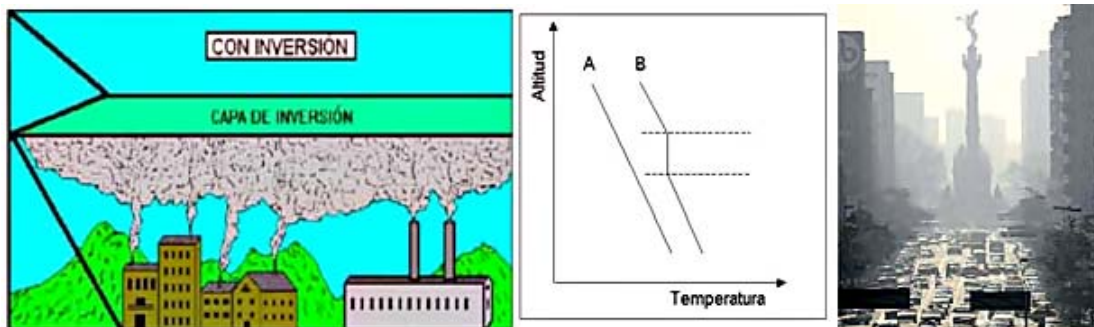
⁽⁷⁾ El albedo oscila entre el 5 y 10% en los mares, entre el 60 y 85% en superficies nevadas y hielo, 10-15% en los bosques y 30-50% en los desiertos.

⁽⁸⁾ Las ¾ partes de la superficie de la Tierra están cubierta de agua, el agua absorbe muy bien la radiación solar y mediante las corrientes marinas cálidas (desde el ecuador hacia las altas latitudes) y frías (desde los polos hacia las latitudes más bajas) regulan el clima de manera mucho más eficaz que la atmósfera. Tanto el transporte oceánico como atmosférico están regulados por un bucle de realimentación negativa.

TEMA 3. LA ATMÓSFERA

Si la temperatura disminuyera con la altura, el aire caliente y contaminado del suelo se elevaría en virtud de su menor densidad, expandiéndose y diluyéndose hasta la estratosfera, donde los vientos en altura los dispersarían totalmente. Por el contrario, hay dificultad para que se produzca la dispersión de los contaminantes cuando no hay corrientes ascendentes de aire. Una situación especialmente grave se da cuando hay inversión térmica, ya que los contaminantes quedan atrapados cerca de la superficie. Sin vientos importantes, temperaturas bajo cero y una gran estabilidad atmosférica no hay dispersión ni dilución de contaminantes.

Las inversiones térmicas se suelen producir en invierno, cuando las noches son más largas y la superficie



terrestre se enfría mucho, de modo que el aire en contacto con la superficie se enfría más rápidamente que el aire situado por encima, lo que se favorece en ausencia de nubes y de viento⁽⁹⁾. Con anticiclones es más probable que se desarrollen situaciones de inversión térmica (los anticiclones producen ausencia de nubes).

La situación se agrava si se forma niebla, pues los contaminantes reaccionan con el agua de la niebla produciendo sustancias más dañinas como ácidos. El frío favorece la niebla pues condensa el vapor de agua atmosférico formando gotas de agua líquida de pequeñísimo tamaño que permanecen en suspensión. Finalmente, esta niebla reduce la visibilidad con lo que al amanecer, el Sol tarda más en calentar la superficie y romper la inversión térmica.

La inversión térmica se rompe cuando la radiación solar llega a la superficie terrestre con la suficiente intensidad y duración como para calentarla, calentándose también el aire próximo, estableciéndose así el GTV normal y la posibilidad de un ascenso del aire.

Otras formas de desarrollarse una inversión térmica son también por el movimiento de una masa de aire desde una zona cálida a otra fría (el aire frío se sitúa abajo por ser más denso y el aire cálido se sitúa a mayor altura por ser menos denso), o por el choque de dos masas de aire con humedad, presión y temperaturas diferentes (una masa polar y otra tropical).

4.- CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.

4.1.- CONCEPTO.

Es la presencia en el aire de concentraciones anormalmente elevadas de materias o formas de energía, naturales o artificiales, que implican riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza (animales, plantas, materiales, etc.).

⁽⁹⁾ La ausencia de nubes durante la noche produce un rápido enfriamiento, pues las nubes actúan de pantalla, evitando que el calor almacenado durante el día escape rápidamente, los agricultores murcianos saben que en invierno las noches sin nubes pueden helarse sus cosechas, pero con nubes no se tienen que preocupar.

TEMA 3. LA ATMÓSFERA

4.2.- FUENTES: NATURAL Y ANTRÓPICA.

Se consideran naturales las debidas a la actividad biológica de la biosfera, geológica de la Tierra (erupciones volcánicas fundamentalmente), y a otros procesos naturales como impactos de meteoritos, incendios forestales de origen natural, etc.

Se consideran antrópicas las causadas por la actividad humana, como la combustión de combustibles fósiles y sus derivados, y la derivada de la actividad industrial.

4.3.- TIPOS DE CONTAMINANTES.

4.3.1.- Primarios.

Son los que proceden directamente de las fuentes de emisión. Son responsables de la mayor parte de la contaminación atmosférica.

4.3.1.1.- Partículas: Sin considerar el agua pura, en la atmósfera se encuentran pequeños sólidos y gotitas líquidas que, en conjunto, reciben el nombre de partículas. Varían muchísimo tanto por la composición química como por el tamaño. Las mayores de 10 μm de diámetro se llaman partículas sedimentables y precipitan pronto, pero las de menor tamaño pueden permanecer mucho tiempo en la atmósfera, se llaman partículas en suspensión, y son eliminadas por la lluvia.

-Partículas sedimentables: Tienen un tamaño superior a 10 μm . y alta velocidad de sedimentación.

Origen: Polvo del suelo, trituración y pulverización de rocas y áridos, movimientos de tierra, industrias cementeras...

Efectos: Por su rápida sedimentación no son perjudiciales.

- Partículas en suspensión: Tienen un tamaño inferior a 10 μm . y baja velocidad de sedimentación.

Origen: Polvo del suelo, erupciones volcánicas, incendios, combustión de combustibles fósiles, sal marina, canteras, minería, industrias cementeras...

Efectos: variados según su naturaleza, muy graves cuando se trata de metales pesados; en general producen enfermedades del aparato respiratorio, aumentan el efecto invernadero, interfieren en la fotosíntesis (obstruyen los estomas y forman costras), reflejan la radiación solar (aumentan el albedo).

4.3.1.2.- Compuestos de azufre: Son todos óxidos SO_x , salvo el hidruro H_2S (ácido sulfhídrico). El más abundante es el SO_2 (gas incoloro, no inflamable, de olor picante e irritante) que resulta principalmente de la oxidación del azufre presente en los combustibles fósiles al quemarse, sobre todo del carbón, rico en azufre, aunque también procede de incendios y volcanes. El SO_2 es muy corrosivo para materiales de construcción (calizas, cementos, pizarras...), metales (hierro, acero galvanizado...), agrietamiento de pinturas, deterioro del cuero... también puede depositarse sobre la vegetación y el suelo, el SO_2 produce lesiones en las hojas de las plantas, influye en la actividad fotosintética. En humanos el SO_2 produce problemas respiratorios (aunque se necesitan concentraciones superiores a las que causan daños a las plantas) y puede afectar a mucosas como a la ocular.

TEMA 3. LA ATMÓSFERA

El SO_3 se forma, aunque en menor proporción, de la misma manera que el SO_2 , y también por oxidación fotoquímica (atmosférica) de éste⁽¹⁰⁾. En contacto con la humedad ambiental, el SO_3 se transforma inmediatamente en ácido sulfúrico (H_2SO_4) que además de ser muy perjudicial para la salud, es uno de los contaminantes secundarios responsables de la lluvia ácida.

El H_2S es un gas incoloro, se distingue aun a muy baja concentración por su fuerte y desagradable olor a huevos podridos, y procede principalmente de la descomposición anaerobia de aminoácidos sulfurados (cisteína, cistina, metionina...), aunque también escapa de volcanes, refinerías de petróleo y fábricas de gas. Se oxida rápidamente a SO_2 de forma natural.

4.3.1.3.- Compuestos de nitrógeno: De naturaleza gaseosa, son todos óxidos NO_x , salvo el hidruro, NH_3 (amoníaco). El NO es incoloro, inodoro y tóxico; el NO_2 es pardo rojizo, de olor asfixiante y muy tóxico; el N_2O es también incoloro, pero no tóxico), finalmente, el NH_3 es igualmente incoloro, y de olor sofocante. En la atmósfera, gran parte del NO se transforma en NO_2 mediante reacciones fotoquímicas y el amoníaco se oxida a óxidos de nitrógeno.

Origen: Combustibles, motores, vehículos, aviones, industria química, fabricación de fertilizantes, descargas eléctricas en tormentas, incendios forestales, erupciones volcánicas, acción bacteriana en el suelo, etc. Los óxidos NO_x se forman principalmente en las combustiones, el NO_2 en las de origen antrópico, y el N_2O también en la desnitrificación bacteriana de abonos nitrogenados, mientras que el amoníaco procede sobre todo de la descomposición anaerobia de las proteínas.

Efectos: Sobre los tintes textiles, las corrosiones en estructuras metálicas y el aparato respiratorio (en los 3 casos NO_2), sobre el crecimiento de las plantas (NO_2), incremento del efecto invernadero (N_2O). El NO_2 es de color marrón-rojizo muy abundante en las ciudades (debido al tráfico) dando este color tan típico en las cúpulas de contaminación que envuelven muchas ciudades, al reaccionar el NO_2 con el agua origina ácido nítrico (contaminante secundario muy reactivo que además participa en la formación de la lluvia ácida junto con el ácido sulfúrico).

4.3.1.4.- Óxido de carbono⁽¹¹⁾: El CO es un gas incoloro, inodoro, insípido, inflamable y tóxico. Es el contaminante más abundante en el aire y de más amplia distribución.

Origen: Combustión defectuosa de combustibles fósiles y biomasa por oxigenación insuficiente, (los vehículos generan mucho CO), también se origina en las erupciones volcánicas e incendios forestales, en la producción y degradación de la clorofila, disociación del CO_2 a elevada temperatura, por reacciones entre éste y otros compuestos carbonados, y por oxidación atmosférica del metano CH_4 , principalmente. Se elimina por oxidación a CO_2 (por hongos del suelo y con el O_2 atmosférico).

Efectos: Sobre los aparatos respiratorio y circulatorio de animales superiores (que tienen hemoglobina), ya que el monóxido de carbono (CO) se une a ésta bloqueando su capacidad para transportar oxígeno, puede causar muerte por asfixia incluso a muy bajas concentraciones ya que su afinidad por la hemoglobina es más de 200 veces mayor que la del oxígeno. Incremento del efecto invernadero (se convierte en CO_2).

⁽¹⁰⁾ En este caso se trataría de un contaminante secundario y no procede su estudio en este apartado.

⁽¹¹⁾ El CO_2 no se considera contaminante propiamente dicho, por ser producido en la respiración y fermentaciones, y usado en la fotosíntesis de forma natural.

TEMA 3. LA ATMÓSFERA

4.3.1.5.- Hidrocarburos: La mayor parte de los hidrocarburos atmosféricos son de origen natural como el metano (CH_4), el más importante, de potente efecto invernadero, -20 veces mayor que el CO_2 -, que procede de la descomposición anaerobia de la materia orgánica (en fondos oceánicos, pantanos, marismas y aparato digestivo de herbívoros). Otros hidrocarburos naturales son los terpenos (de resinas y esencias) liberados por las plantas.

De origen antrópico, son el metano formado en arrozales, depuradoras y vertederos, los disolventes orgánicos de pinturas, barnices y lacas, y sobre todo los procedentes de la industria petrolífera y automoción. Los hidrocarburos atmosféricos son especialmente abundantes en las ciudades.

Otro efecto de los hidrocarburos en la atmósfera es que sufren procesos de oxidación por el ozono troposférico⁽¹²⁾ con formación de otros oxidantes como PAN (nitrato de peroxiacetilo), PPN (nitrato de peroxipropionilo), NPBz (nitrato de peroxibenzoilo) y ácidos nítrico y sulfúrico, que intervienen en la formación del smog fotoquímico.

Existen otros compuestos orgánicos, como las dioxinas y furanos y los policlorobifenilos (PCB), que no siendo, - *strictu sensu*-, hidrocarburos, tienen importantes efectos cancerígenos y mutagénicos, y se producen en la incineración y/o durante el tratamiento de residuos/sustancias clorados, por ejemplo en la fabricación de pesticidas.

4.3.1.6.- Compuestos halogenados y sus derivados: Son sustancias que contienen cloro y flúor, destacan: el cloro Cl_2 , muy tóxico, el ácido clorhídrico, -o cloruro de hidrógeno-, HCl , de olor fuerte e irritante, los CFCs, o clorofluorocarbonos, no son tóxicos ni inflamables y son químicamente muy estables por lo que han sido empleados en aerosoles, formación de espumas, refrigerantes y frigoríficos, y finalmente, el ácido fluorhídrico, -o fluoruro de hidrógeno-, HF , gas incoloro, de olor irritante y muy corrosivo.

Origen: Erupciones volcánicas, emisiones marinas, industrias químicas, aerosoles, vehículos e industrias. Los plásticos conocidos como PVC (policloruro de vinilo) desprenden cloro por incineración, la industria libera poca cantidad de cloro, pero éste se encuentra entre los gases expulsados por los vehículos. El HF y sus derivados tienen su origen en la actividad de industrias de aluminio, fertilizantes, vidrio, cerámicas...

Efectos: Los CFCs provocan la destrucción de la capa de ozono en la estratosfera. Otros producen irritación de las vías respiratorias y mucosas (especialmente el cloro), decoloración de las plantas, y los derivados del flúor son muy corrosivos.

4.3.1.7 Metales pesados: Son elementos químicos de masa atómica y densidad elevadas presentes en la atmósfera como partículas y en pequeñas concentraciones. Se consideran muy peligrosos, puesto que no se degradan ni química ni biológicamente (vida media de miles o millones de años), se acumulan en los seres vivos y se transfieren a través de la cadena alimentaria. Entre los más nocivos⁽¹³⁾: Pb, Cd, Hg, As, Ni.

Origen: Combustión de combustibles fósiles, industria metalúrgica, nuclear y espacial, minería, incineración de residuos. Por su peligrosidad destacar el mercurio que se desprende de la combustión del carbón y de la

⁽¹²⁾ El ozono troposférico se forma por reacción fotoquímica entre el NO_2 y el O_2 en capas con inversión térmica, donde la acumulación de contaminantes es mayor, y da lugar a la formación del smog fotoquímico.

⁽¹³⁾ aprender sobre todo el plomo y el mercurio que son los más conocidos.

TEMA 3. LA ATMÓSFERA

incineración de residuos urbanos e industriales, aparece en algunos fungicidas usados en agricultura. Y destacar también el plomo que hasta hace poco estaba en gasolinas y en pinturas.

Efectos: Son acumulativos. Actúan sobre los aparatos respiratorio, circulatorio y sistema nervioso, además son carcinógenos (cancerígenos). El plomo y el mercurio producen daños irreversibles en el riñón y el cerebro. El envenenamiento por plomo se llama saturnismo, y por mercurio hidrargismo.

4.3.1.8.- Ruido: Se puede definir como todo sonido molesto e intempestivo que produce efectos fisiológicos y psicológicos en las personas.

Origen: Cualquier actividad humana que produzca vibraciones: tráfico, industrias, obras, aeropuertos, sirenas, electrodomésticos, lugares de ocio (cafeterías, discotecas...), TV...

Efectos: Sobre las personas: efectos fisiológicos y psicológicos, entre los que destacan pérdida de audición, dolor de cabeza, aceleraciones del ritmo cardíaco y respiratorio, aumento de la presión sanguínea, úlcera, pérdida de apetito, náuseas, disminución de la secreción salivar, vómitos, alteraciones del equilibrio y vértigos, alteraciones hormonales como exceso de adrenalina, irritabilidad, estrés, neurosis, alteraciones del sueño, disminución de la concentración en el trabajo (accidentes laborales y errores) y en los estudios (dificultades en el aprendizaje)... Las vibraciones también pueden afectar a edificios y monumentos.

4.3.1.9.- Radiaciones ionizantes: Son una serie de partículas u ondas electromagnéticas que producen cambios en la materia que atraviesan al ionizar los átomos que la forman. Los rayos X, γ (gamma) y las partículas α y β , se consideran radiaciones ionizantes. Son más peligrosas cuanto más penetrantes, el poder de penetración de los rayos X es del orden de los decímetros y el de la radiación gamma del orden de metros.

Origen: Desintegración natural de átomos presentes en rocas y minerales, residuos explosivos nucleares, investigación con marcadores radiactivos, tratamiento y exploración médicos (rayos X, gammagrafías...), minería y el enriquecimiento del uranio, residuos, accidentes y escapes de centrales nucleares, etc.

Efectos: Cancerígenos, teratógenos pues producen malformaciones genéticas en los fetos, y mutagénicos, ya que afectan al ADN provocando mutaciones que pueden transmitirse.

4.3.2.- Secundarios.

Son los que se forman por interacción química entre contaminantes primarios o entre éstos y componentes normales de la atmósfera, especialmente el vapor de agua y la radiación solar, formándose otros compuestos nuevos por transformación de los ya existentes.

4.3.2.1.- Anhídrido sulfúrico (SO_3) y ácido sulfúrico (H_2SO_4): El SO_3 formado por oxidación del SO_2 , es un gas incoloro que participa en el smog clásico (corrosivo y peligroso para el aparato respiratorio), condensa rápidamente y reacciona con el agua formando H_2SO_4 responsable de la lluvia ácida, junto con el HNO_3 .

TEMA 3. LA ATMÓSFERA

4.3.2.2.- Trióxido de nitrógeno (NO₃): El NO₃ procede de la oxidación del NO₂ por el ozono, y juega un papel destacado en el smog fotoquímico, u oxidante, que irrita las vías respiratorias y daña las plantas⁽¹⁴⁾.

4.3.2.3.- Nitrato de peroxiacetileno (PAN): Se forma a partir de los hidrocarburos mediante una reacción fotoquímica (ver ⁽¹⁴⁾). Es una de las sustancias responsables del smog fotoquímico, de carácter oxidante como el resto, (irrita las vías respiratorias y daña las plantas).

4.3.2.4.- Ozono troposférico (O₃): Es un gas de color azul pálido, olor irritante y sabor picante, que se descompone fácilmente, lo que explica su poder oxidante.

Origen: Acción de la radiación ultravioleta, o descargas eléctricas, sobre el O₂ atmosférico, también sobre los NO_x e hidrocarburos(ver ⁽¹⁴⁾).

Efectos: Irritación del aparato respiratorio, dolores de cabeza, efecto invernadero (aunque en la estratosfera es beneficioso, en la troposfera el ozono es un contaminante), participa en el smog fotoquímico. Ataca las plantas y materiales.

4.4.- DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES. EMISIÓN E INMISIÓN.

Emisión: Es la cantidad de contaminante emitido por cualquier medio emisor (fuente contaminante) en un período de tiempo determinado. Se suele expresar en µg/m³ o en ppm. Por ejemplo la cantidad de contaminante que sale del tubo de escape de un coche o de la chimenea de una fábrica.

Inmisión: Es la cantidad de contaminante que llega al receptor una vez transportados y difundidos por la atmósfera, lo que depende de las características de las emisiones, de las condiciones atmosféricas y de características geográficas y topográficas. Por ejemplo la cantidad de contaminante presente en la clase, la calle o cualquier otro lugar.

4.4.1.- Factores que influyen en la dinámica de dispersión: Características de las emisiones, condiciones atmosféricas, características geográficas y topográficas.

Características de las emisiones:

- Naturaleza del contaminante: Las partículas sólidas o líquidas se depositan más o menos rápidamente según su mayor o menor tamaño, mientras que los gases no lo hacen nunca, luego su permanencia en la atmósfera dependerá entre otros, de este factor.
- Temperatura de emisión: Los gases calientes pesan menos, luego si los contaminantes son gaseosos, ascenderán hasta las capas altas facilitándose su dispersión. Por el contrario, si su temperatura es menor que la del aire circundante se acumularán en las partes bajas de la atmósfera.

⁽¹⁴⁾ NO_x + hidrocarburos + luz ultravioleta -----> O₃ + PAN + Aldehídos
(Oxidantes del smog fotoquímico)

TEMA 3. LA ATMÓSFERA

- Velocidad de salida: La ascensión es más rápida cuanto mayor es la velocidad de salida, y en caso de inversión térmica, es más fácil que atraviese la capa invertida y consiga dispersarse en las alturas.
- Altura del foco emisor: La altura favorece la dispersión del contaminante por la presencia de vientos más fuertes, y mejor aún si la emisión se produce por encima de la capa de inversión.

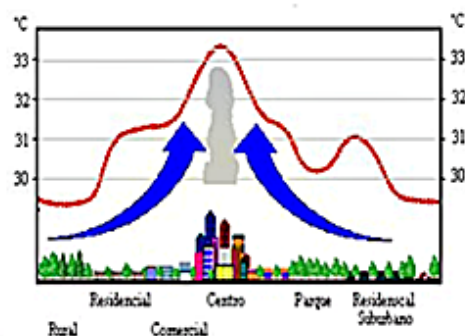
Condiciones atmosféricas: La capacidad de la atmósfera para dispersar y diluir los contaminantes viene determinada por las condiciones atmosféricas locales. Los factores más importantes son:

- Gradiente Térmico Vertical (GTV): Un GTV fuertemente negativo facilita el ascenso y dispersión de los contaminantes hasta alcanzar la estratosfera, donde los vientos en altura los dispersarán totalmente. Por el contrario, hay dificultad para que se produzca la dispersión de los contaminantes cuando no hay corrientes ascendentes de aire. Una situación especialmente grave se da cuando hay inversión térmica ya que los contaminantes quedan atrapados cerca de la superficie. Los anticiclones favorecen la formación de nieblas contaminantes, ya que sin vientos importantes, con temperaturas bajo cero y una gran estabilidad atmosférica no hay dispersión ni dilución de contaminantes, y además es frecuente que se den situaciones de inversión térmica (GTV positivo), más fácilmente durante la noche, como consecuencia del rápido enfriamiento del suelo. Las inversiones térmicas también pueden ocurrir por el movimiento de una masa de aire desde una zona cálida a otra fría, o por el choque de dos masas de aire con humedad, presión y temperaturas diferentes (una masa polar y otra tropical).
- Velocidad del viento: Determina una mayor o menor rapidez en la dispersión de los contaminantes.
- Dirección del viento: Determina el área hacia donde se pueden desplazar los contaminantes emitidos.
- Precipitaciones: Producen un efecto de lavado sobre la atmósfera, arrastrando los contaminantes al suelo.
- Insolación: La radiación solar posibilita las reacciones fotoquímicas que dan lugar a algunos contaminantes secundarios.

Características topográficas y geográficas: Determinan la existencia o no de brisas marinas que arrastran los contaminantes o provocan su acumulación (presencia de montañas costeras); de valles en los que, en invierno, el sol apenas llega a su fondo, favoreciendo situaciones de inversión térmica; de masas vegetales que frenan la velocidad del viento, favoreciendo la deposición de las partículas suspendidas, y de núcleos urbanos (isla de calor), principalmente.

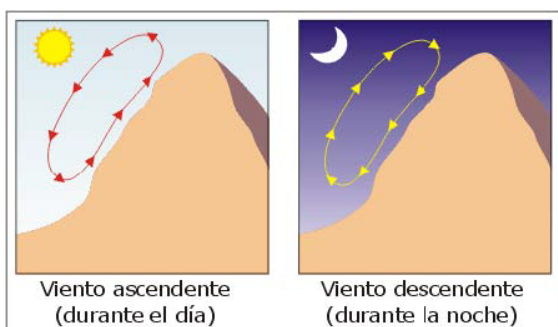
Islas de calor.

Las áreas urbanas (ladrillos, asfalto y cemento) absorben y retienen el calor de manera más eficiente que el suelo y la vegetación, además, las actividades humanas generan calor y contaminación, y sus construcciones frenan los vientos suaves, de modo que las ciudades suelen tener varios grados más de temperatura que las afueras, es por ello que se las llama islas de calor.



TEMA 3. LA ATMÓSFERA

El aire del centro de la ciudad está a mayor temperatura que el de la periferia y asciende, siendo sustituido por el más frío y contaminado de la periferia (zona industrial). Al enfriarse el aire que ascendió, cae hacia la periferia, se recarga de contaminantes, y vuelve de nuevo al centro urbano cerrando así el ciclo, que da lugar a que en ausencia de vientos fuertes o lluvias ocurra una concentración de los contaminantes sobre la ciudad en una zona con forma de cúpula que puede distinguirse claramente al aproximarnos a ella.

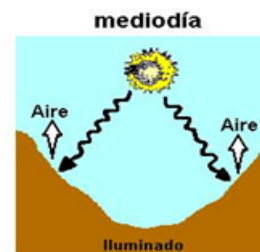


Brisa Montaña-Valle.

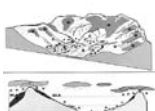
En zonas de valles y laderas se generan las llamadas brisas de valle y montaña. Durante el día las laderas se calientan y se genera una corriente ascendente de aire caliente, mientras que en el fondo del valle (poco soleado) se acumula aire frío originándose una situación de inversión que impedirá la dispersión de los contaminantes. Durante la noche sucede lo contrario: el aire de las laderas se enfría más rápidamente y desciende al valle desde las colinas más altas creándose otra situación de inversión térmica.

Las montañas y los valles se calientan de manera desigual a lo largo del día:

- En las primeras horas de la mañana el Sol calienta e ilumina el lado oriental de la montaña, en tanto que el otro aún permanece oscuro y frío, por lo que el aire se eleva sobre el lado iluminado y desciende sobre el oscuro.
- Al mediodía, los rayos del Sol caen sobre los dos lados calentándolos y produciendo ascensiones que son compensadas con corrientes desde el fondo del valle y desde valles y llanuras próximas.
- Por la tarde ocurre lo mismo que por la mañana, pero sobre la ladera opuesta.
- En las últimas horas de la tarde y hasta que el Sol se oculta por completo, ocurre lo contrario que al mediodía, es decir, por enfriamiento de las laderas que ya no son calentadas por el Sol, el aire escurre sobre el centro del valle⁽¹⁵⁾ formando una cuña que levanta el aire cálido que pudiera quedar. A esto se le llama restitución térmica. Y ya por la noche cuando todo se ha enfriado y está en calma, el aire frío parece una pesada losa que cubre todo el valle.



⁽¹⁵⁾ Los valles forman a menudo una especie de circo con laderas en todas las direcciones.



TEMA 3. LA ATMÓSFERA

Brisa marina.

Las propiedades térmicas de la tierra y el agua son diferentes, la tierra y los objetos que se encuentran sobre ella se calientan y enfrían rápidamente, mientras el agua lo hace lentamente, además la radiación solar sólo calienta una muy fina capa de corteza terrestre, mientras que penetra mucho más a través del agua. Así pues, el aire sobre la superficie terrestre se calienta mucho más y se eleva, y el aire frío sobre el agua se desplaza tierra adentro formándose una corriente local desde el mar, lago o río hacia la tierra conocida como "brisa marina" o "brisa agua-tierra".

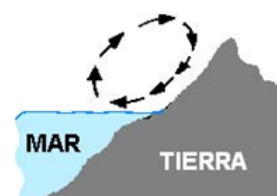
Por la noche, la tierra y el aire sobre ella se enfrían rápidamente por radiación, mientras que el agua permanece más caliente, lo que crea un flujo de retorno llamado "brisa terrestre".

Las velocidades del viento en una brisa terrestre son ligeras, mientras que en el mar pueden ser mucho mayores.

En las zonas costeras los sistemas de brisas originan que durante el día los contaminantes se desplacen hacia el interior mientras que durante la noche la contaminación se desplaza hacia el mar, favoreciendo así la dispersión de los contaminantes, pero su carácter cíclico hace que los contaminantes no se dispersen completamente.



Brisa marina diurna



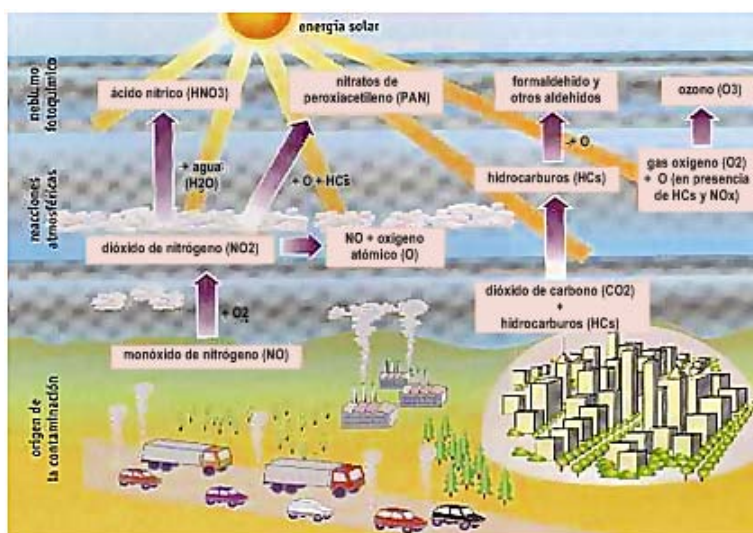
Brisa nocturna o terrenal

4.5.- EFECTOS DE LA DISPERSION DE CONTAMINANTES.

Locales como los ocasionados por cada uno de los contaminantes, el smog⁽¹⁶⁾ sulfuroso (húmedo, o invernal) y el smog fotoquímico (o estival); regionales que abarcan grandes extensiones de terreno, Europa por ejemplo, como la lluvia ácida; o globales que abarcan la totalidad del planeta y que sólo pueden mitigarse si se actúa sobre su origen, como el agujero de la capa de ozono y el cambio climático.

El smog clásico o sulfuroso, de color grisáceo, es típico de ciudades con alto contenido en SO_2 atmosférico, elevada humedad con partículas en suspensión y situaciones anticiclónicas. Se conoció y estudió a partir del grave proceso de contaminación en Londres⁽¹⁷⁾ en 1952 donde murieron 4.000 personas. Afecta al aparato respiratorio, produciendo irritación de las mucosas, tos, asma, etc. También provoca una disminución considerable de la visibilidad, y decolora y endurece las hojas de las plantas.

El smog fotoquímico, de color parduzco, tiene su origen en la presencia en la atmósfera de oxidantes fotoquímicos (niebla de oxidantes) que emanan de las reacciones de óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y oxígeno con la energía proveniente de la radiación ultravioleta. Este proceso se ve favorecido por situaciones anticiclónicas, fuerte insolación y vientos débiles que

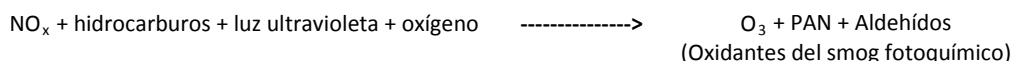


⁽¹⁶⁾ El término smog designa una forma de contaminación atmosférica que se produce en algunas ciudades, asociado al uso de combustibles (hidrocarburos y carbón), como consecuencia de unas condiciones climatológicas (anticlones persistentes) y geográficas (valles) concretas. Procede del inglés (smoke = humo y fog = niebla) que definen su apariencia. Provoca una elevada pérdida de calidad del aire y graves alteraciones en la salud humana.

⁽¹⁷⁾ Las nieblas invernales del Támesis estabilizadas por inversión térmica acumulaban los contaminantes procedentes de las industrias, principalmente debidos a la quema de combustibles fósiles, sobre todo carbón, así que hablamos de: CO , CO_2 , SO_3 y SO_2 , que junto a una gran cantidad de partículas en suspensión le daba cierta consistencia (por ello se la comparó con un "puré de guisantes").

TEMA 3. LA ATMÓSFERA

dificultan la dispersión de contaminantes y refuerzan la capa de inversión térmica que se forma en las primeras horas del día⁽¹⁸⁾ y puede durar bastante tiempo si la situación anticiclónica es estacionaria. El smog fotoquímico se caracteriza por la presencia de bruma, de O_3 , PAN y aldehídos, de color parduzco, que reduce la visibilidad y produce irritación en ojos y nariz, y complicaciones respiratorias en niños, ancianos y personas con trastornos respiratorios (también produce dolores de cabeza y alergias). Reduce la actividad fotosintética de las plantas, y corroe: metales, cueros, fibras sintéticas y cauchos. Además, el O_3 es un gas con efecto invernadero.



4.6.- DETECCIÓN, PREVENCIÓN Y CORRECCIÓN.

4.6.1.- Detección: redes de estaciones de vigilancia e indicadores biológicos de contaminación (líquenes).

Las redes de estaciones de vigilancia, permiten conocer las concentraciones de contaminantes cada lugar y momento. Algunas están formadas por estaciones con sensores que detectan los niveles de inmisión de contaminantes en tiempo real, y otras por estaciones donde se toman muestras para su análisis posterior. Usamos redes dedicadas para conocer la contaminación de grandes focos como centrales térmicas, refinерías, etc. y estimaciones para pequeños focos como calefacciones domésticas, vehículos, etc. Una gran ciudad suele tener varias estaciones distribuidas, y un centro de control donde se procesa toda la información y se da la alarma a autoridades e industrias cuando la contaminación supera los niveles permitidos.

Los líquenes son excelentes bioindicadores de contaminación atmosférica, ya que la inmensa mayoría de ellos no pueden vivir en zonas con determinados niveles de contaminación; aunque hay algunos que pueden tolerar ciertos niveles de contaminación, lo que es seguro es que en zonas donde la contaminación es muy importante no aparecen líquenes. Algunos líquenes son tan extremadamente sensibles a la contaminación que si aparecen en un lugar determinado indican la buena calidad de ese aire y que no hay industrias contaminantes a mucha distancia.

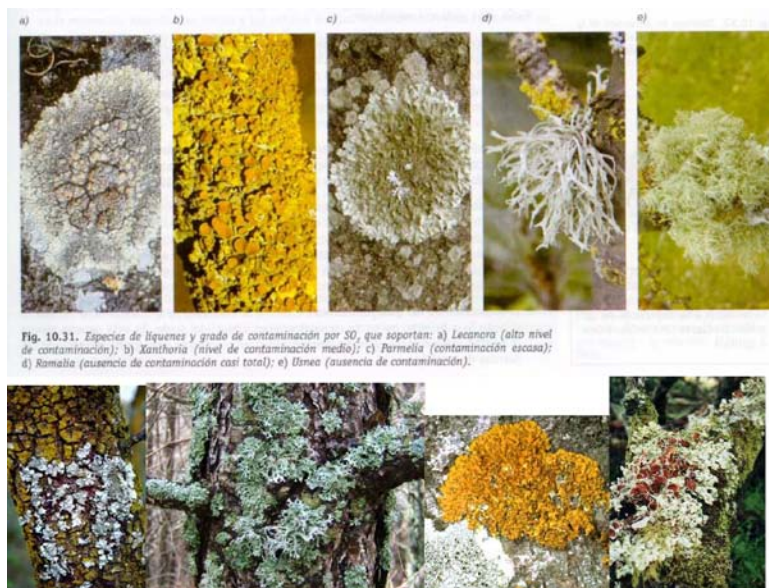


Fig. 10.31. Especies de líquenes y grado de contaminación por SO_2 que soportan: a) *Lecanora* (alto nivel de contaminación); b) *Xanthoria* (nivel de contaminación medio); c) *Parmelia* (contaminación escasa); d) *Ramalina* (ausencia de contaminación casi total); e) *Usnea* (ausencia de contaminación).

4.6.2.- Prevención.

Ordenación territorial, tecnologías de baja emisión, educación ambiental, cumplimiento de acuerdos internacionales, medidas políticas arriesgadas, cumplimiento de los principios operativos de sostenibilidad (de

⁽¹⁸⁾ Ya sabemos que, especialmente en situaciones anticiclónicas, durante la noche, el suelo se enfría más que el aire y puede formar una capa de inversión térmica que normalmente desaparecería con las primeras horas de Sol, pero la niebla impide el calentamiento del suelo, y con ello la desaparición de la inversión.

TEMA 3. LA ATMÓSFERA

la emisión sostenible, de emisión 0, de integración sostenible, de selección sostenible de tecnologías de precaución), etc.

Las medidas más comunes son:

- **Planificación de los usos del territorio (ordenación territorial):** Establecer los lugares idóneos para minimizar los efectos de las actuaciones humanas sobre las poblaciones, la biosfera y los materiales.
- **Realización de estudios de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA):** Previo a las actuaciones humanas que puedan afectar al medio, y con el fin de establecer medidas correctoras que mitiguen los impactos antes de que ocurran.
- **Programas de I+D energéticos:** Encaminados a la mejora de la eficiencia, y a la búsqueda y aplicación de fuentes de energía alternativas, -y menos contaminantes-, especialmente las renovables.
- **Mejora de la calidad de los combustibles:** Reducción del contenido en azufre de los combustibles, orientación hacia combustibles con menor contenido en éste, oferta de gasolinas de alto octanaje sin adición de plomo.
- **Establecimiento normativo sobre calidad del aire:** Por parte de las administraciones locales, regionales, nacionales e internacionales.
- **Empleo de tecnologías limpias:** De baja o nula emisión de contaminantes.
- **Establecimiento de acuerdos internacionales:** Como el protocolo de Kioto.
- **Educación ambiental:** Por parte de las Administraciones públicas hacia los ciudadanos para que tomen conciencia de su contribución a la contaminación global.
- **Principios de sostenibilidad:** Para garantizar la capacidad de regeneración de la biosfera atendiendo a los siguientes criterios operativos:
 - **Principio de la recolección sostenible:** La recolección de los recursos renovables (suelo, especies silvestres, bosques, ecosistemas marinos, etc.) no ha de superar su capacidad de regeneración.
 - **Principio del vaciado sostenible:** La explotación de recursos no renovables al mismo ritmo al que se crean sus sustitutos renovables. Por ejemplo, la extracción de petróleo a cambio de la plantación de una cantidad de árboles que fije el mismo CO₂ que aquél libera se puede considerar casi-sostenible.
 - **Principio de emisión sostenible:** El ritmo de generación de residuos debe ser igual al de asimilación o absorción naturales por los ecosistemas que los reciben (implica emisión cero de residuos acumulativos o no biodegradables).
 - **Principio de irreversibilidad cero:** Anulación de impactos irreversibles (desertización, extinciones, etc.)
 - **Principio de desarrollo sostenible:** Garantizar el desarrollo equitativo de las generaciones presentes mejorando la calidad de vida y erradicando la pobreza, la marginación, las desigualdades y los conflictos sociales, para todos los habitantes del planeta; y futuras al preservar los recursos y la biosfera.
 - **Principio de selección sostenible de tecnologías:** Favorecer las tecnologías limpias y eficientes frente a las que no lo son.
 - **Principio de precaución:** Adoptar una actitud vigilante que identifique y descarte con anticipación las vías que puedan conducir a desenlaces catastróficos, aún cuando parezcan poco probables, y sus alternativas más difíciles y costosas.

4.6.3.- Corrección.

Pantallas acústicas, almacenes de CO₂, concentración y retención de partículas, sistemas de depuración de gases, etc.

Las que se utilizan con mayor frecuencia son:

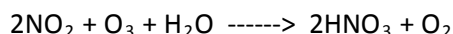
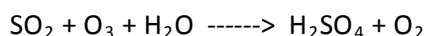
- Chimeneas de gran altura para facilitar la dispersión de contaminantes.
- Depuración de gases por: absorción selectiva con disolventes líquidos, adsorción selectiva con adsorbentes sólidos, combustión en antorchas o quemadores, y reducción catalítica cuando la forma reducida es no tóxica.

TEMA 3. LA ATMÓSFERA

- Concentración y retención de partículas⁽¹⁹⁾ con: separadores de gravedad, filtros de tejido, precipitadores electrostáticos, y absorbedores húmedos.
- Colocación de pantallas acústicas en autovías y otras carreteras muy transitadas o ruidosas a su paso por centros urbanos.
- Incineración.
- Utilización de vehículos eléctricos.
- Convertidores catalíticos (catalizadores) como los del escape de los coches actuales, que destruyen los NO_x principalmente.
- Almacenamiento subterráneo del CO₂ de las centrales térmicas por inyección a presión en acuíferos inservibles para el uso humano, formaciones impermeables, como minas de sal, capas de carbón o determinadas pizarras. Incluso en los propios yacimientos de gas natural, lo que aumenta su presión y con ella la extracción. Recordemos que España es el país desarrollado que más se aleja de sus compromisos del Protocolo de Kioto y que ha triplicado ya el tope pactado para 2012.
- Almacenamiento submarino de CO₂ en aguas profundas. Técnicas caras e inmaduras estas dos últimas, en las que se desconocen los posibles efectos secundarios (impactos ambientales), y con algunas fugas en el almacenamiento submarino.

5.- LA LLUVIA ÁCIDA.

De manera natural, la lluvia tiene un pH de 5,6. Esta acidez natural se produce por la disolución del CO₂ atmosférico en las gotas de agua, originando el débil H₂CO₃ (ácido carbónico). Valores de pH inferiores a 5-5,6 en la lluvia se consideran lluvia ácida. Ésta acidez es debida principalmente⁽²⁰⁾ a la oxidación del SO₂ y NO₂ para dar los ácidos sulfúrico (H₂SO₄) y nítrico (HNO₃) respectivamente. El SO₂ es el más soluble y su oxidación más fácil, por tanto es el que más contribuye a la lluvia ácida (⅔ de la acidez procede del H₂SO₄ y ⅓ del HNO₃). La reacción más frecuente⁽²¹⁾ de oxidación es con el O₃ (ozono):



La combustión de combustibles fósiles (emite SO₂ y NO₂), especialmente carbón, por su contenido en azufre, es la causa principal de la lluvia ácida. Vehículos, centrales térmicas y muchos procesos industriales los utilizan.

Estos contaminantes pueden caer a la superficie terrestre de dos maneras:

- **Deposición húmeda:** Si SO₂ y NO₂ permanecen suficiente tiempo en la atmósfera, sufren la oxidación a ácidos sulfúrico (H₂SO₄) y nítrico (HNO₃), respectivamente, que disueltos en el agua atmosférica producen precipitaciones ácidas en forma de lluvia, nieve o granizo (incluso nieblas o rocíos).
- **Deposición seca:** Ocurre cerca de los focos emisores y en poco tiempo. Sus efectos son igualmente dañinos.

Esta contaminación puede ser transfronteriza ya que estos compuestos pueden ser transportados largas distancias desde el foco emisor hasta que precipiten, afectando así zonas y ecosistemas muy diversos, a cientos de kilómetros. Por ejemplo los contaminantes producidos por Gran Bretaña y Alemania se trasladan

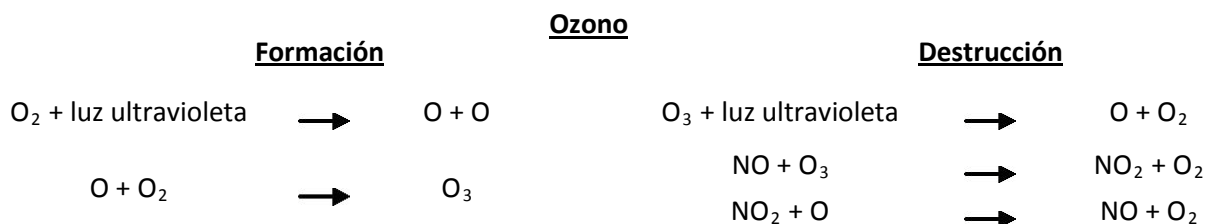
⁽¹⁹⁾ Cuyo inconveniente es que pasan la contaminación de un sitio a otro sin eliminarla. Por lo que posteriormente habrá que tratar el concentrado.

⁽²⁰⁾ El HCl (ácido clorhídrico), y otros, son menos abundantes.

⁽²¹⁾ Aunque puede ser con otros oxidantes como los radicales OH⁻ (hidroxilo).

Ambos procesos de formación y destrucción de ozono se mantenían en equilibrio hasta hace unas décadas.

TEMA 3. LA ATMÓSFERA



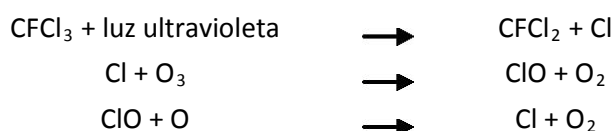
Entre los años 1977 y 1984, se detectó que la cantidad de ozono existente durante la primavera en la Antártida había disminuido en un 40 %. Los científicos denominaron a este fenómeno "el agujero de ozono". Sin embargo, el término no se ajusta a la realidad, ya que lo que realmente se produce es una disminución del espesor de la capa de ozono, entre 1 y 2 Km, a una altura de unos 16 km. Esto es debido al aumento de las sustancias (NO_x y N_2O) que disminuyen de forma natural el ozono, y a la aparición de nuevas sustancias que destruyen el ozono, principalmente los CFCs, o clorofluorocarbonos.

El aumento de los NO_x se debe al uso de los combustibles fósiles y el del N_2O al abuso de los fertilizantes nitrogenados en la agricultura (por la desnitrificación bacteriana). Los NO_x no suelen llegar hasta la estratosfera porque son reactivos y forman otros compuestos como el ácido nítrico de la lluvia ácida, sin embargo los N_2O son muy estables (poco reactivos) y sí pueden hacerlo, donde tras un proceso de fotólisis por la luz ultravioleta originarían los NO_x que disminuyen el ozono (el N_2O no afecta directamente al ozono).

Para que las sustancias de la troposfera lleguen a la estratosfera deben superar tres barreras: primero la inversión térmica de la estratosfera⁽²²⁾ que impide el ascenso de aire hasta ella, segundo el agua de lluvia arrastra y disuelve los contaminantes, y tercero una barrera química formada principalmente por radicales OH troposféricos que degradan los contaminantes que alcanzan alturas mayores. Sin embargo las sustancias poco reactivas como los N_2O y los CFCs no se ven afectadas por ellos y tienen más posibilidades de alcanzar la estratosfera, los NO_x generados en pruebas nucleares⁽²³⁾ (actualmente "prohibidas") pueden llegar fácilmente a la estratosfera impulsados por la onda expansiva, y los aviones supersónicos que vuelan a gran altura en la estratosfera también liberan NO_x .

Los hidrocarburos halogenados más utilizados son: los clorofluorocarbonos, CFCs, o freones, como el $CFCl_3$ y CF_2Cl_2 , usados en refrigeración; los bromofluorocarbonos, o halones, usados en extinción de incendios; y los hidroclorofluorocarbonos, o HCFCs, como el bromuro de metilo (CH_3Br , fungicida), y el tetracloruro de carbono (CCl_4 , disolvente). Ellos son los grandes culpables de la destrucción de la capa de ozono estratosférica, sin embargo, cuando se planteó su uso fueron considerados ambientalmente perfectos, puesto que eran totalmente inertes en la troposfera y no formaban compuestos peligrosos para los seres vivos. Dicha falta de actividad en la troposfera les permite alcanzar la estratosfera, donde la radiación ultravioleta los descompone liberando átomos de Cl y Br, (el F no afecta al ozono), que catalizan la transformación de ozono en oxígeno molecular.

Destrucción del ozono por CFCs



⁽²²⁾ en la estratosfera la temperatura aumenta con la altura en lugar de disminuir como sucede en la troposfera.

⁽²³⁾ El color anaranjado del hongo atómico en altura se debe a la gran cantidad de NO producido.

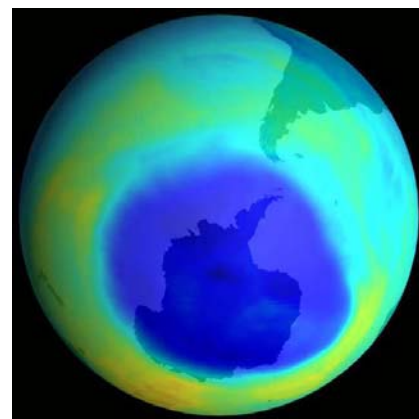
TEMA 3. LA ATMÓSFERA

Vemos que después de destruir el ozono, el cloro queda libre para seguir destruyendo más ozonos, cada átomo de Cl puede permanecer en la estratosfera alrededor de 100 años, en los que puede catalizar la destrucción de unas 100.000 moléculas de ozono antes de reaccionar con los NO_x ⁽²⁴⁾ que pueden capturarlo e inmovilizarlo en forma de nitrato de cloro, ClONO_2 .

Captura del cloro



Si la pérdida de ozono se produce precisamente sobre los polos, es porque a temperaturas muy bajas se inactivan los NO_x al actuar como núcleos de condensación del agua, al reaccionar con el agua se transforman en ácido nítrico, precipitando con la nieve. Se forma una realimentación positiva porque al disminuir los NO_x hay más cloro libre destruyendo ozono, a menor absorción de luz ultravioleta por el ozono más fría está la estratosfera, formándose más cristales de hielo que inactivan los NO_x . Los CFCs se sintetizaron y produjeron masivamente hace pocas décadas para ser utilizados como refrigerantes (frigoríficos y aire acondicionado), como propelentes (sprays), como espumógenos (espumas aislantes) o en la lucha contra incendios (extintores y sistemas basados en el halón). Los CFCs además de la destrucción del ozono en la estratosfera, producen un incremento del efecto invernadero en la troposfera.

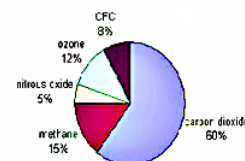


Los efectos de la pérdida de la capa de ozono estratosférica son potencialmente graves para la biosfera, ya que la radiación ultravioleta es un potente agente mutagénico: el ADN absorbe esta radiación modificándose su estructura. Las principales afecciones y enfermedades que se pueden producir por la radiación ultravioleta son el cáncer de piel, afecciones oculares como cataratas (en ganado ovino se han observado fuertes cegueras) y el debilitamiento del sistema inmunológico. En los ecosistemas marinos afecta principalmente a los organismos que forman la base de las cadenas tróficas (bacterias, fitoplancton, huevos y larvas de peces) afectando así al resto de los eslabones tróficos. En las plantas provoca, principalmente, disminución del tamaño de las hojas, menor crecimiento y peor calidad de las semillas.

Aunque dejasen de utilizarse totalmente estos compuestos (algunos están prohibidos en muchos países y otros restringidos por acuerdos internacionales) de manera inmediata, el ozono continuaría destruyéndose durante décadas hasta que desaparecieran sus restos de la troposfera y estratosfera. Estudios recientes han demostrado que una reducción del 1% de la capa de ozono conlleva un aumento de un 2% en la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre, y éste, a su vez, entre un 4 y un 6% de los casos de cáncer de piel.

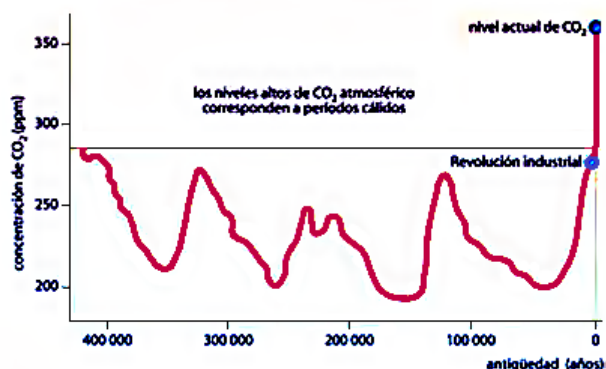
7.- AUMENTO DEL EFECTO INVERNADERO.

El efecto invernadero consiste en que algunos gases como el CO_2 , CH_4 , CFCs, H_2O , O_3 , y NO_x absorben la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre, para reemitirla posteriormente, lo que se traduce en un retraso de su escape, y por tanto un aumento de la temperatura. Este proceso natural ha hecho posible el desarrollo de la vida en nuestro planeta ya que es el responsable de que su temperatura media sea de unos 15°C, (-18°C sin él), y que las diferencias entre el día y la noche sean poco acusadas.



⁽²⁴⁾ Si bien es verdad que los NO_x destruyen el ozono también lo es que capturan el cloro, por tanto, si el efecto del cloro es muy grande la presencia de NO_x es más beneficiosa que perjudicial para el ozono.

TEMA 3. LA ATMÓSFERA

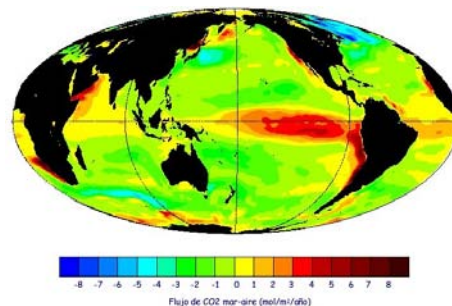


En los últimos miles de años la concentración de CO₂ atmosférico se mantuvo alrededor de 280 ppm, pero a partir de la Revolución Industrial, con la quema de combustibles fósiles, comenzó su vertiginoso ascenso hasta 367 ppm en 1998. Este aumento está ocasionando un calentamiento global. En los últimos cien años la temperatura ha aumentado más de 0,5º C, en parte debido a un aumento del 30% del nivel de CO₂. El CO₂ se genera por la quema de combustibles fósiles y madera (70%), fabricación de cemento (25%),

respiración animal y descomposición aeróbica (5%), y se consume principalmente por disolución en el agua del mar⁽²⁵⁾, por la fotosíntesis, y en la formación de esqueletos, -especialmente el calcáreo de corales, y otros organismos marinos como moluscos y algas-.

El vapor de agua produce más efecto invernadero que el CO₂, pero como su exceso precipita, (rocío, lluvia, escarcha, nieve y granizo), su nivel se supone constante, y no se tiene en cuenta al hablar del calentamiento global ni del aumento del efecto invernadero.

También, el CH₄, el O₃ troposférico, el N₂O y los CFCs son mucho más potentes que el CO₂, aunque su incidencia en el calentamiento global no sea tanta, dada su menor concentración en la atmósfera.



El metano, CH₄, segundo gas en importancia, con una concentración de 1,7 ppm, ha aumentado en los últimos años debido a la agricultura y ganadería, -arrozales, y fermentaciones del aparato digestivo del ganado -, fugas de oleoductos, vertederos de residuos sólidos y combustión de biomasa.

Los países desarrollados producen el 63 % de las emisiones mundiales de gases de invernadero, y sólo los EEUU el 24,5 %.

Los efectos previsibles son: elevación de las temperaturas, variaciones de las precipitaciones y distribución de climas, extinción de especies, devastación de bosques y producción agrícola, aumento de incendios, subida del nivel del mar (expansión térmica del agua del mar, deshielo de los glaciares de montaña, derretimiento de las cubiertas de hielo de los polos), salinización de acuíferos costeros al subir el nivel del mar, desplazamiento de las zonas climáticas hacia los polos, desplazamiento de cinturones vegetales, alteración de la circulación oceánica, aparición de nuevas enfermedades y plagas del campo, mayores inundaciones en determinadas zonas y fuertes sequías en otras, etc. Como consecuencia de todo ello, se elevaría la tensión internacional por la disputa de los recursos de agua y alimentos, proliferación de refugiados, etc.

A pesar de la dificultad de estas previsiones⁽²⁶⁾, se postula que, de continuar el ritmo de crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero, cada 10 años la temperatura aumentaría 0,3º C y el nivel del mar subiría entre 3 y 10 cm. Lo que representa entre 2 y 6º C, a mediados de siglo, y unos 50 cm a finales.

⁽²⁵⁾ Al disolverse más CO₂ en el agua, ésta se acidifica, debiendo adaptarse los organismos acuáticos a las nuevas condiciones.

$$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \qquad \text{H}_2\text{CO}_3 \longrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \qquad \text{HCO}_3^- \longrightarrow \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$$

⁽²⁶⁾ Al aumentar el CO₂ aumentaría la fotosíntesis y el crecimiento vegetal (disminuyendo el CO₂), a mayor temperatura más evaporación y más nubosidad que aumenta el albedo (disminuyendo la temperatura), o más calor produciría más evaporación y más → vapor de agua produciría más calor porque tiene efecto invernadero, al derretirse el hielo disminuye el albedo calentando más (derritiéndose más hielo), si disminuye la velocidad de las corrientes profundas se acumularía más CO₂ en la atmósfera.

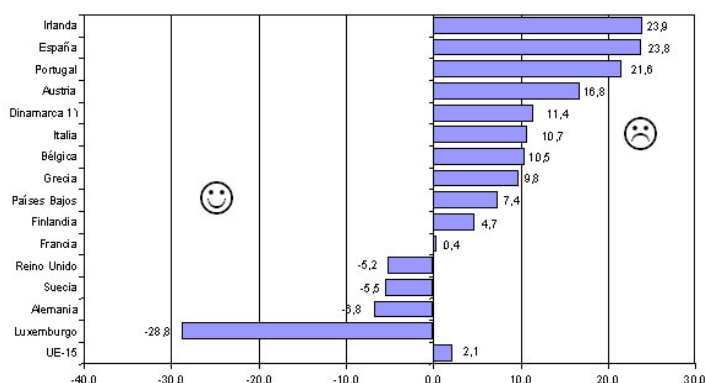
TEMA 3. LA ATMÓSFERA

El calentamiento parece que sería menor en los trópicos que en las zonas polares, algunos modelos señalan mayores precipitaciones (a veces de gran intensidad) en el centro de Europa y en Rusia; y sequías importantes en el sur de Europa. En España y en Estados Unidos estas predicciones apuntan a un incremento de la superficie desértica.

Se puede afirmar que:

- Se ha producido un incremento real, aunque irregular, de la temperatura en la superficie de la Tierra.
- Ha existido un retroceso, aunque irregular, de la mayoría de los glaciares de montaña en el mismo período.
- La precipitación ha variado mucho en el África subsahariana desde hace unas pocas decenas de años.
- En amplias zonas del planeta se han observado dentro de este siglo importantes variaciones tanto en la precipitación como en la nubosidad media.

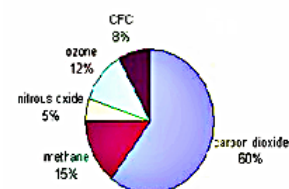
Las medidas que podrían corregir o estabilizar el proceso son muchas: detener el crecimiento demográfico (menos alimentos, ganado, producción industrial, agua y energía), alcanzar acuerdos internacionales⁽²⁷⁾ para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, aumentar el peso de las energías renovables sobre el total producido, mejorar la eficiencia de la producción energética con las fuentes existentes y desarrollar el aprovechamiento de otras fuentes de energía como la fusión nuclear, frenar la deforestación y la desertización, educar a la población para el ahorro energético, evitar la contaminación marina (mata algas, plantas acuáticas y fitoplancton), industrias más limpias (energética y tecnológicamente), sustituir el carbón por gas natural o GLPs (gases licuados del petróleo), vertederos controlados con recuperación del biogás (metano) generado, realizar repoblación forestal, detener la producción de CFCs, emprender nuevas formas de alimentar el ganado que originen menos metano, etc.



8.- EL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL.

Definición: El Cambio Climático Global es un cambio atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición global atmosférica y que se añade a la variabilidad climática natural observada en periodos comparables de tiempo.

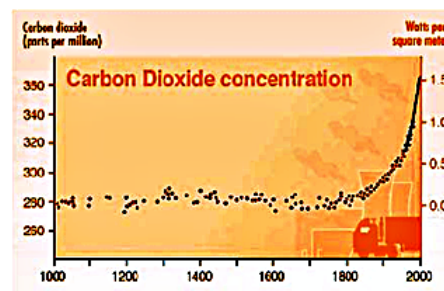
Causas: Para poder comprender las causas del cambio global climático y el aumento de la temperatura global (la temperatura de la superficie terrestre ha aumentado aproximadamente 0.6°C en el último siglo) se debe considerar al sistema climático bajo una visión holística (consecuencia del vínculo que existe entre la atmósfera, los océanos, la criosfera, la biosfera y la geosfera). No obstante, la principal causa es el aumento de concentraciones de gases invernadero tales



⁽²⁷⁾ El protocolo de Kioto, aprobado en 1997, y firmado por más de 80 países (38 muy industrializados), recoge el compromiso de reducir las emisiones de 6 gases de efecto invernadero a las que producían en 1990 (vinculante sólo para los más industrializados), pero no entrará en vigor hasta que sea ratificado, y Estados Unidos no lo ha hecho aún. España tampoco lo está cumpliendo porque su emisión de CO₂ en 2004 es más del 35% superior a la de 1990.

TEMA 3. LA ATMÓSFERA

como el dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y clorofluorocarbonos. Estos gases están atrapando una porción creciente de radiación infrarroja terrestre y se espera que hagan aumentar la temperatura planetaria.



Efectos: El cambio climático es un proceso planetario pero sus efectos son regionales y locales:

- ascenso del nivel del mar (inundación de las áreas costeras)
- disminución del albedo (mayor aumento de las temperaturas)
- reducción de los glaciares, aumento de los icebergs y descongelación del océano Ártico (disminución de la salinidad del agua oceánica y cambios en las corrientes oceánicas)
- desplazamiento de las zonas climáticas hacia los polos (destrucción de la tundra que actúa como sumidero de gases invernadero, cambios en la distribución de plantas y animales, extinción de incontables especies, fracasos en cultivos en áreas vulnerables, floraciones prematuras, deshielo de las nieves perpetuas...)
- aumento generalizado de las temperaturas de la troposfera entre 1,4 y 5,8°C durante los próximos 100 años cambios en la distribución de las precipitaciones (tormentas más intensas, inundaciones, sequías, huracanes y avances de los desiertos)
- reducción de la calidad de las aguas
- problemas de salud, hambre y enfermedades derivadas de la disminución de las cosechas, reactivación de enfermedades producidas por mosquitos y otros vectores de transmisión, expansión del área de enfermedades infecciosas tropicales.

Además hay una gran incertidumbre con respecto a las implicaciones del cambio climático global, a las magnitudes y las tasas de estos cambios a escalas regionales y a las respuestas de los ecosistemas, que a su vez, pueden traducirse en desequilibrios económicos.

9.- LA CONTAMINACIÓN ATMOSFERICA EN LA REGIÓN DE MURCIA.

Cuando en la Región, al igual que en el resto de España, surgen las primeras intenciones serias de frenar los procesos de deterioro de la calidad del aire, a principios de los años setenta, es precisamente cuando aparecen en todos los países industriales los principales obstáculos para la adecuada instrumentación de políticas ambientales decididas: escasez de recursos económicos, derivada de la crisis económica; dificultades para la elección de combustibles menos contaminantes, debido a la crisis energética, y pérdida de capacidad inversora.

Las primeras medidas de niveles de inmisión en la Región son realizadas por la campaña analítica 1966/67 por la entonces Jefatura Provincial de Sanidad, y que por falta de medios económicos y de material adecuados reduce su estudio al "polvo atmosférico" y a la ciudad de Murcia.

La vigilancia de la calidad del aire en la región de Murcia comienza en la década de los 70 con la instalación, por parte de dicha Jefatura, de una red de toma de muestras en Cartagena. Posteriormente en la década de los 80 esta red manual se extendió al resto de la Región con la instalación de captadores manuales de muestras en Murcia capital, Molina de Segura, Alcantarilla, Yecla y Lorca. En el año 1985 se empiezan a instalar las primeras estaciones automáticas de vigilancia atmosférica en Cartagena y en 1992 se pone en marcha la

TEMA 3. LA ATMÓSFERA

estación automática de Murcia Capital. En la actualidad hay instaladas en toda la región 10 estaciones automáticas que configuran la Red Regional de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica.

Desde el punto de vista de la contaminación atmosférica, existe en la Región dos espacios geográficos diferenciados:

- **Cartagena y pedanías cercanas:** La zona Cartagena-Escombreras concentra la mayor parte de la industria pesada regional, con una potencia instalada mayor que el resto de la Región en su conjunto, de modo que esta potente industria de base origina una muy intensa contaminación generalizada, se estima que más del 95 % de las emisiones de origen industrial de la Región.
- **El resto de la Región:** Las emisiones industriales de contaminantes son muchísimo más reducidas, y sólo originan problemas puntuales por una situación de promiscuidad de industrias como cementeras y canteras, y viviendas, siendo el aporte común más importante el originado por los vehículos automóviles.

Entre las emisiones contaminantes en la Región destaca la de SO₂, con unas 50.000 Tm/año en Escombreras, principalmente por la Central Térmica, y la Refinería de Petróleos en segundo lugar; aunque en mucha menor magnitud pueden citarse las partículas en suspensión y los óxidos de nitrógeno, NO_x.

Cartagena fue durante el período 1977-78 la ciudad española, -y casi con toda seguridad de los países europeos-, con los niveles de SO₂ más elevados. Hasta 1979, -y no por falta de movilizaciones populares-, la Administración sólo ejerce medidas coyunturales, fundamentalmente dirigidas a la instalación de la red de vigilancia, y es en 1979 cuando tras la declaración de "zona de atmósfera contaminada" se toman las medidas estructurales que producen una inflexión sostenida de los niveles registrados de SO₂ originando desde mediados de 1981 una situación admisible para este contaminante.

En el resto de la Región se producen situaciones puntuales de contaminación atmosférica de origen industrial, no debido a grandes emisiones sino, más bien, a errores urbanísticos; destacando Alcantarilla, donde además de una importante emisión de partículas sólidas se produce una impactante emisión de furfural, peligroso contaminante para la salud, de olor insoportable.

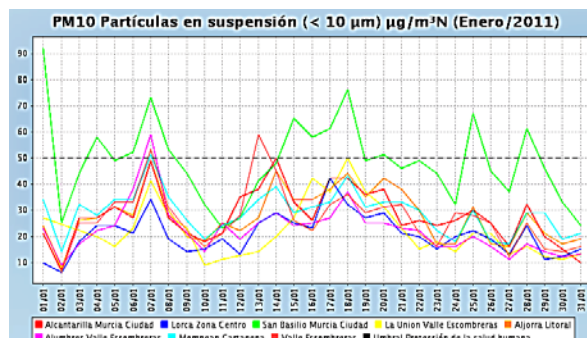
La actual Red Regional de Medición de Contaminantes Atmosféricos tiene dos estaciones en la zona de Murcia (Murcia-Alcantarilla y San Basilio), siete estaciones medidoras en la zona de Cartagena y su entorno (La Unión, La Aljorra, Torreciega, Alumbres, San Ginés, Mompeán y Valle de Escombreras) y una estación medidora en la zona de Lorca. Existe además una estación medidora móvil. Estos datos se pueden consultar online en:

<http://www.carm.es/cmaot/calidadaire/portal/datosonline/index.jsp>

El Ayuntamiento de Murcia tiene dos estaciones medidoras en la Avenida del Río Segura y Jardín de las Atalayas, pero no están homologadas con la Red Regional de la Consejería de Desarrollo Sostenible y Ordenación del Territorio, ni con la Red Estatal del Ministerio de Medio Ambiente. Tampoco se ha habilitado ningún sistema de consulta de los niveles de contaminación atmosférica medidos por las estaciones a su cargo en tiempo real, a través de la página web del ayuntamiento. Los contaminantes que miden estas estaciones son los siguientes:

1. Partículas menores de 10 µm (PM10): abarcan un amplio espectro de sustancias orgánicas e inorgánicas dispersas en el aire procedentes de fuentes naturales y artificiales, la combustión de carburantes del tráfico es una de sus principales causas.

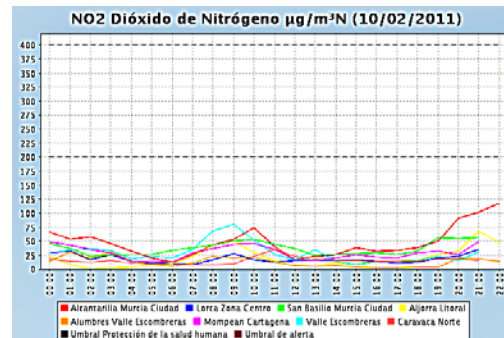
Las PM10, son partículas "torácicas", menores de 10 µm (micras). Todas las partículas de diámetro menor de 10 µm (micras) se denominan PM10 y pueden penetrar hasta las



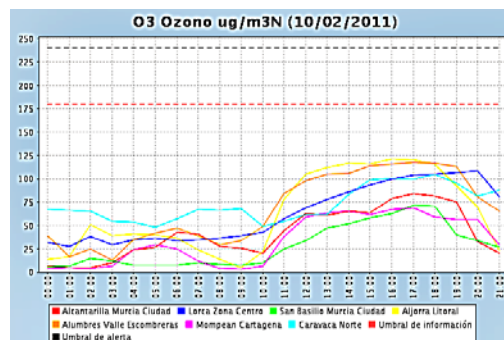
TEMA 3. LA ATMÓSFERA

vías respiratorias bajas. Las partículas PM10 son uno de los problemas ambientales más severos dadas sus graves afecciones al sistema respiratorio. Estas partículas atmosféricas se emiten por la actividad humana (emisiones del tráfico rodado, emisiones de la industria petroquímica, actividades metalúrgicas y de producción de fosfatos, etc.) a las que se pueden sumar, en ocasiones, las emitidas por fuentes de origen natural como las intrusiones de polvo sahariano que afectan de vez en cuando a la Región Murciana.

2. Dióxido de nitrógeno (NO₂): es un gas contaminante. El dióxido de nitrógeno (NO₂) en el aire de la región murciana proviene, en su mayor parte de la oxidación del óxido de nitrógeno (NO) emitido por el tráfico rodado y, en algún caso, también por las centrales de producción eléctrica. El NO₂ interviene también en diversas reacciones químicas en la atmósfera que dan lugar a ozono troposférico (O₃) y partículas en suspensión menores de 2'5 micras, es decir, es precursor de otros contaminantes. El NO₂ afecta a los tramos más profundos de los pulmones, inhibiendo algunas funciones de los mismos, como la respuesta inmunológica y produciendo una merma en la resistencia a las infecciones. Los niños y asmáticos son los más afectados por exposición a concentraciones altas de NO₂. Los efectos directos del NO₂ se han analizado en estudios toxicológicos de exposiciones controladas. Dichos estudios indican que el NO₂ tiene capacidad de promover reacciones inflamatorias en el pulmón. La exposición a corto plazo en altos niveles causa daños en las células pulmonares mientras que la exposición a más largo plazo en niveles bajos de dióxido de nitrógeno puede causar cambios en el tejido pulmonar similares a un enfisema.



3. Ozono troposférico (O₃): es un gas contaminante secundario que se forma por *reacciones fotoquímicas* impulsadas por la acción de la luz solar sobre los *óxidos de nitrógeno* producidos por la contaminación por el tráfico rodado y *los compuestos orgánicos volátiles* por emisiones de fábricas y gasolineras. El ozono, altamente reactivo, tiende a descomponerse en las zonas en las que existe una alta concentración de óxido de nitrógeno (NO). Esto explica que su presencia en el centro de las grandes ciudades suele ser más baja que en los cinturones metropolitanos y en las áreas rurales circundantes. Es probable que con el aumento de la insolación y el tráfico en determinadas zonas en verano aumenten los episodios de contaminación por ozono.



4. Dióxido de azufre (SO₂): es un gas irritante y tóxico, emitido fundamentalmente por determinadas actividades industriales. La exposición de altas concentraciones por cortos períodos de tiempo puede irritar el tracto respiratorio, causar bronquitis y congestionar los conductos bronquiales de los asmáticos. La exposición crónica al SO₂ y a partículas de sulfatos se ha correlacionado con un mayor número de muertes prematuras asociadas a enfermedades pulmonares y cardiovasculares. El efecto irritante continuado puede causar una disminución de las funciones respiratorias y el desarrollo de enfermedades como la bronquitis.

