

# TEMA 2. LA ATMÓSFERA.

## 1. LA ATMÓSFERA: Estructura, composición química y propiedades físicas.

### 1.1 Introducción (capa fluida de unos 10000 km., según autores, que rodea la Tierra. Formada por gases, líquidos y sólidos en suspensión; el 95% de su masa se encuentra en los primeros 15 Km....)

Curiosidad (no estudiar): La atmósfera se puede definir como la envoltura de gases que rodea la Tierra. Se formó por la desgasificación que sufrió el planeta durante su proceso de enfriamiento desde las primeras etapas de su formación (al bajar la temperatura muchas sustancias que estaban gaseosas pasaron a líquido o sólido). A esto hay que añadir grandes cantidades de gases y polvo emitidos por los volcanes y los cambios a lo largo del tiempo por los seres vivos que aportaron  $O_2$  y  $N_2$  a la atmósfera y disminuyeron la concentración de  $CO_2$  y, como no, los cambios actuales provocados por la humanidad que aumentan el  $CO_2$  mediante la quema de combustibles fósiles y la deforestación.

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 40.0000...

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 <sub>2</sub> )	78,083%
-Oxígeno (O <sub>2</sub> )	20,945%
-Argón (Ar)	0,934%
-Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	0,035%
-Otros: Neón (Ne), Helio (He), Criptón (Kr), Hidrógeno (H <sub>2</sub> ), Xenón (Xe), metano (CH <sub>4</sub> ), Ozono (O <sub>3</sub> ), óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> ), 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 <sub>2</sub> )	Entre 100 y 200 Km.
Capa de Oxígeno atómico (O)	Entre 200 y 1000 Km.
Capa de Helio (He)	Entre 1000 y 35000 Km.
Capa de Hidrógeno atómico (H)	A partir de 3500 Km.

Fíjate 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 1013 milibares, y es equivalente al peso de una columna de mercurio de 760 mm de altura y un cm<sup>2</sup> 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 (se repetirá en la estructura de la atmósfera).**

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 (la temperatura baja 0,65 °C cada 100m de altura) hasta llegar a -70 °C a los 12 Km de altura. A partir de aquí, la temperatura asciende con la altura hasta llegar próximo a los 0 °C en los 50 Km. Este incremento de temperatura está relacionado con la absorción por el ozono de la radiación solar ultravioleta. De los 50 a los 80 Km de altura, la temperatura disminuye hasta alcanzar los -140 °C; a partir de aquí, la temperatura va ascendiendo en altura al absorber las radiaciones de alta energía, pudiendo alcanzar más de 1000 °C a unos 600 Km de altura; a partir de aquí la baja densidad de gases impide la transmisión del calor y carece de

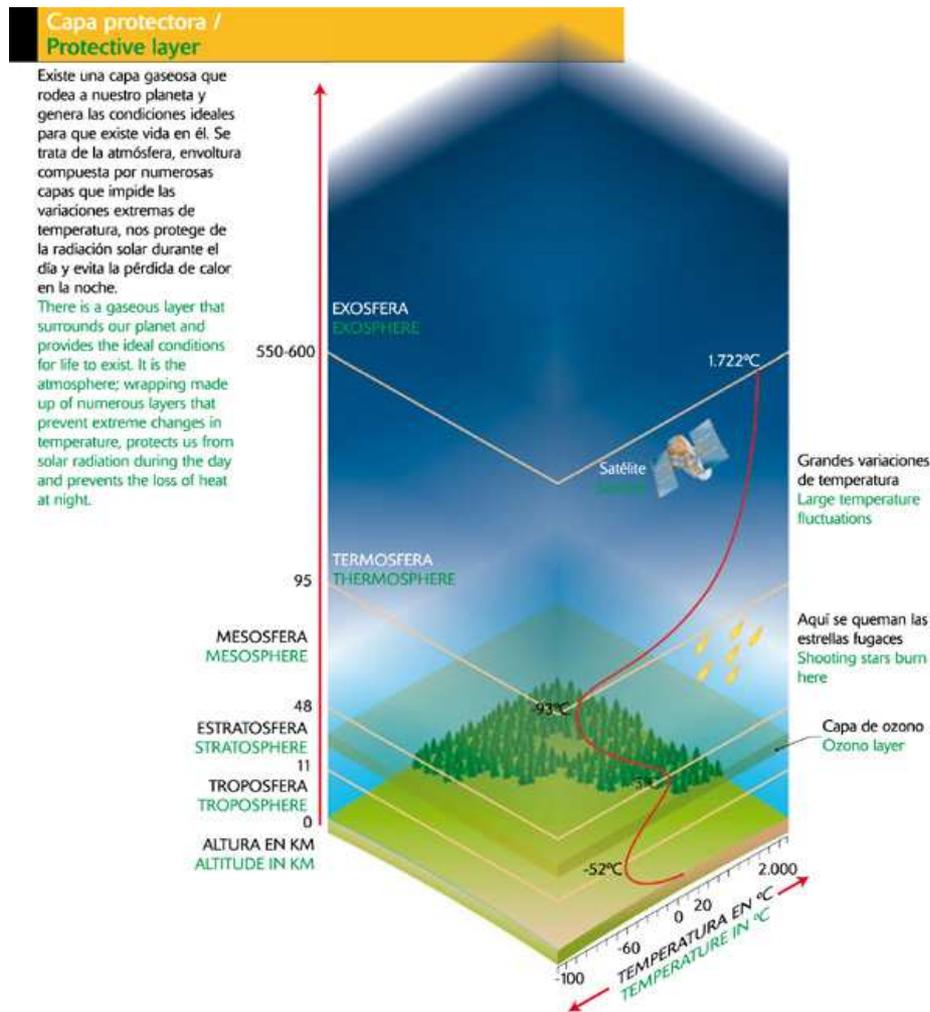
sentido hablar de temperatura. Curiosidad: el calor es el paso de energía de un cuerpo que está a más temperatura a otro cuerpo que está a menor temperatura.

#### 1.4 Estructura de la atmósfera. Las capas de la atmósfera 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. 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. Este polvo actúa como núcleos de condensación que facilitan el paso del vapor de agua atmosférico a agua líquida, la troposfera contiene prácticamente todo el vapor de agua atmosférica. 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. La temperatura de la troposfera es máxima en su parte inferior, 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 (la temperatura baja 0,65 °C cada 100m de altura) hasta llegar a -70 °C en el límite superior de la troposfera: la tropopausa.
- **Estratosfera**; se extiende desde la tropopausa hasta los 50 Km de altura, límite de la estratosfera llamado estratopausa. En esta capa 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 ozonósfera. La temperatura asciende con la altura hasta llegar próximo a los 0 °C en la estratopausa. Este incremento de temperatura está relacionado con la absorción por el ozono de la radiación solar ultravioleta, por lo que esta capa actúa como pantalla protectora frente a los perjudiciales rayos ultravioleta. Dentro de esta capa hay movimientos horizontales de aire, pero no verticales como sucede en la troposfera.
- **Mesosfera**; se extiende hasta los 80 Km. de altura. La temperatura disminuye hasta alcanzar 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 mesosfera produciéndose las llamadas estrellas fugaces, pero otros autores responsabilizan de este fenómeno a la termosfera donde se alcanzan temperaturas muy altas.
- **Termosfera o ionosfera**; se denomina así porque gran parte de las moléculas presentes están ionizadas por la absorción de las radiaciones solares de alta energía (rayos gamma, rayos X y parte de la radiación ultravioleta), provocando que el nitrógeno y el oxígeno pierdan electrones quedando ionizados con carga +, los electrones desprendidos originan campos eléctricos por toda la capa. La interacción de las partículas subatómicas procedentes del Sol con los átomos ionizados da lugar a fenómenos luminosos llamados auroras polares (aurora boreal en polo norte y aurora austral en polo sur) que suceden cerca de los polos magnéticos. En la ionosfera rebotan las ondas de radio y televisión usadas en las telecomunicaciones. La temperatura de la termosfera va ascendiendo en altura al absorber las radiaciones de alta energía, pudiendo alcanzar más de 1000 °C (Curiosidad: la baja densidad de gases hace que esta temperatura realmente no signifique mucha energía). Su límite superior se denomina termopausa, entre los 600 – 800 Km de altura, continuándose con la exosfera.
- **Exosfera**; desde los 600 – 800 Km de altura hasta unos 10.000 Km según autores. Tiene una bajísima densidad de gases hasta llegar a ser similar a la del espacio exterior (casi vacío) con

lo que el cielo se oscurece (no hay prácticamente materia que absorba la luz). Curiosidad: 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.



Más datos: la magnetosfera es la región del espacio que rodea la Tierra, en la que el campo magnético terrestre forma un escudo protector contra el viento solar (flujo de partículas, mayoritariamente protones emitidos desde la atmósfera solar) y las radiaciones mas peligrosas, como los rayos gamma y rayos X solares, lo que constituye una condición que posibilita la existencia de vida en nuestro planeta. La magnetosfera comienza a unos 500 Km. de altitud por encima de la ionosfera, y se prolonga mucho mas lejos que la exosfera, a unos 60.000 Km. de altitud en la dirección del Sol y mucho mas distante en dirección opuesta.

## 2. FUNCIÓN REGULADORA Y PROTECTORA DE LA ATMÓSFERA.

### 2.1 El balance de radiación solar.

La Tierra tiene una temperatura media constante en el tiempo, por lo que existe un balance radiactivo nulo entre la cantidad de radiación solar entrante y la radiación terrestre saliente, si no se calentaría y enfriaría continuamente.

De la radiación total proveniente del sol, un 30% es reflejada (albedo) por las nubes, superficie terrestre y atmósfera (gases, polvo,...), el 25 % es absorbida por la atmósfera debido a la capa de ozono (3%), vapor de agua y partículas del aire (17% ambos) y las nubes (5%) y un 45% es absorbida por la superficie (océanos > continentes), calor que saldrá de la superficie lenta y

gradualmente hacia la atmósfera en forma de calor latente asociado a la evaporación > onda larga > conducción directa a la atmósfera.

La radiación presente en la atmósfera (tanto la absorbida por ésta como la recibida de la superficie terrestre que acaba volviendo a la atmósfera) es devuelta al espacio en forma de radiación de onda larga (aunque el efecto invernadero o contrarradiación retarda la vuelta al espacio de la radiación).

## **2.2 Función protectora: la atmósfera como filtro protector (acción de la Ionosfera y Estratosfera.**

La atmósfera presenta diferentes gradientes de temperatura en sus diferentes capas. Esto es debido a que absorbe de manera selectiva las radiaciones de diferentes longitudes de onda que nos llegan del Sol.

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 ozonfera, gran parte de la radiación ultravioleta. Curiosidad: 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. Las radiaciones correspondientes al espectro visible atraviesan la atmósfera y alcanzan la superficie terrestre, de donde se deduce que la atmósfera es casi transparente a dichas radiaciones y no experimenta un calentamiento apreciable al ser atravesada por las mismas. No ocurre así con las radiaciones infrarrojas y las de menor energía, que son absorbidas por el CO<sub>2</sub> y el vapor de agua atmosféricos y que ocasionan un aumento de la temperatura.

## **2.3 Función reguladora del clima por la atmósfera: variaciones del albedo, efecto invernadero y circulación general del aire.**

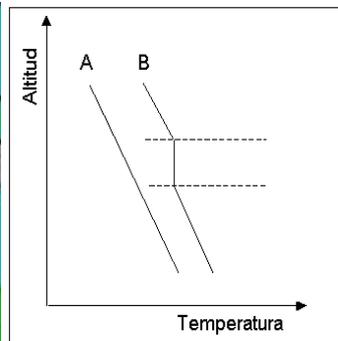
La atmósfera por el día refleja (albedo) y absorbe parte de la radiación solar, evitando el sobrecalentamiento de la superficie del planeta. También absorbe parte de la radiación infrarroja que emite la superficie, evitando que se enfríe bruscamente por la noche ya que parte de ese calor vuelve a la Tierra como contrarradiación (efecto invernadero), y por último, la circulación del aire tiende a compensar los desequilibrios de temperatura originados por la diferente insolación en distintas zonas del planeta. Concretando:

- **Albedo**: de toda la radiación visible incidente que llega a la parte baja de la atmósfera (troposfera), una parte (normalmente un 30%) es reflejada por las nubes, polvo, hielo, nieve, y la superficie terrestre como el suelo desprovisto de vegetación y constituye el denominado albedo. Un incremento del albedo produce un enfriamiento. Curiosidad: 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.
- **Efecto invernadero**: parte de la luz visible no reflejada llega al suelo y causa su calentamiento. Como consecuencia de este calentamiento se produce lentamente una posterior radiación de calor (radiación infrarroja) desde el suelo hacia la atmósfera, que produce su calentamiento al ser absorbida por el CO<sub>2</sub> y el vapor de agua entre otros componentes atmosféricos calentando la atmósfera. Éste es el fenómeno llamado efecto invernadero, que es aumentado por la contrarradiación ya que parte de esta radiación absorbida es devuelta a la superficie.
- **Circulación general del aire**: la circulación general de la atmósfera redistribuye la energía solar que llega a la Tierra, disminuyendo las diferencias de temperatura entre el ecuador y las latitudes más altas (participa en el balance de calor con los grandes sistemas de vientos,

huracanes y ciclones que transportan calor desde las zonas tropicales hacia los polos y frío desde zonas polares hacia el ecuador). Curiosidad: las  $\frac{3}{4}$  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.

### 3. INVERSIONES TÉRMICAS. CONCEPTO Y DESARROLLO

CONCEPTO: En la troposfera la temperatura disminuye con la altura (GTV=  $\downarrow 0,65 \text{ }^\circ\text{C}/100\text{m}$ ), en la parte más baja el aire es más cálido y por lo tanto, menos denso, por lo que tiende a ascender (y en la parte más alta el aire frío es más denso y tiende a descender por otro lugar donde no haya ascenso de aire cálido). Pero podemos encontrar zonas en la troposfera en las que (existen perturbaciones en el GTV) la temperatura aumenta con la altura, a este hecho se le llama inversión térmica que impide el ascenso del aire situado abajo (más frío y por tanto más denso). Las inversiones térmicas son muy negativas para los episodios de contaminación atmosférica porque el aire frío situado a menor altura pesa más y no puede ascender, impidiendo la dispersión de la contaminación atmosférica. Dicho de otra manera, si con la altura la temperatura va disminuyendo en suficiente proporción, los contaminantes ascenderán con el aire y según lo hagan se irán expandiendo, disminuyendo su concentración, 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 (zona donde el aire asciende en altura en lugar de descender), 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.



DESARROLLO: Las inversiones térmicas se suelen producir en invierno, cuando las noches son más largas y la superficie terrestre se enfría mucho, provocando que el aire en contacto con la superficie se enfríe más rápidamente que el aire situado por encima. Este fenómeno se favorece en ausencia de nubes y de viento (piensa en que 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, POR ESO LOS AGRICULTORES MURCIANOS SABEN QUE EN INVIERNO LAS NOCHES SIN NUBES PUEDEN HELARSE SUS COSECHAS, PERO CON NUBES NO SE TIENEN QUE PREOCUPAR). Con anticiclones es más probable que se desarrollen situaciones de inversión térmica (los anticiclones producen ausencia de nubes). La situación se puede agravar si se forma niebla (nubes a ras del suelo), pues los contaminantes reaccionan con el agua de la niebla produciendo sustancias más dañinas como ácidos, el frío favorece la niebla pues a menor temperatura el vapor de agua se condensa formando gotas de agua en suspensión (niebla), la niebla reduce la visibilidad con lo que al amanecer tarda más el Sol en calentar la superficie para 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. De esta forma se establece el GTV normal y la posibilidad de que se produzca 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: fuentes, principales contaminantes, detección, prevención y corrección.**

### **4.1 Concepto de contaminación atmosférica.**

Se entiende por contaminación atmosférica “la presencia en el aire de materias o formas de energía en concentraciones elevadas sobre su nivel ambiental normal como para que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza (animales, plantas, materiales...)”. Las sustancias contaminantes pueden ser naturales o artificiales y presentarse sólidas, líquidas o gaseosas.

### **4.2 Fuentes de la contaminación del aire: natural y antrópica.**

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

**Antrópica:** Son las que se originan como consecuencia de la actividad humana. Destaca especialmente la combustión de combustibles fósiles y sus derivados, bien en la industria o en el uso doméstico.

### **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 de tamaño mayor de 10  $\mu\text{m}$  se llaman partículas sedimentables y precipitan pronto, pero las de menor tamaño se llaman partículas en suspensión porque pueden permanecer mucho tiempo en la atmósfera, aunque en general, son eliminadas por la lluvia.

- Partículas sedimentables: son un contaminante primario que tiene alta velocidad de sedimentación. Con un tamaño superior a 10  $\mu$ . 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: son un contaminante primario con un tamaño inferior a 10  $\mu$ . Origen. Polvo del suelo, erupciones volcánicas, incendios, combustión de combustibles fósiles, sal marina, canteras, minería, industrias cementeras... Efectos: variados, depende de su naturaleza, algunas incluso pueden ser metales pesados (efectos muy graves), en general enfermedades del aparato respiratorio, incremento del efecto invernadero, interfiere en la fotosíntesis (obstruyen los estomas y forman costras que interfieren en la fotosíntesis), reflejan la radiación solar (albedo)...

#### 4.3.1.2 Compuestos de azufre.

El más abundante es el  $\text{SO}_2$  (gas incoloro, no inflamable, olor picante e irritante) que resulta principalmente de la oxidación del azufre presente en los combustibles fósiles al quemarse, sobre todo del carbón que es rico en azufre, también procede de incendios y volcanes (todo esto puede formar también  $\text{SO}_3$ ). El  $\text{SO}_2$  se puede transformar en  $\text{SO}_3$  por oxidación en la atmósfera (en este caso sería contaminante secundario y no se estudia en este apartado de contaminantes primarios), o bien el  $\text{SO}_3$  se puede formar, al igual que el anterior, sobre todo en las combustiones. El  $\text{SO}_3$  se puede transformar en ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) que además de ser muy perjudicial para la salud, es uno de los contaminantes secundarios responsables de la lluvia ácida. El  $\text{SO}_2$  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  $\text{SO}_2$  produce lesiones en las hojas de las plantas, influye en la actividad fotosintética. En humanos el  $\text{SO}_2$  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. Otro compuesto de azufre es el  $\text{H}_2\text{S}$  (gas incoloro, fuerte olor desagradable) se distingue a baja concentración por su mal olor a huevos podridos, procede principalmente del metabolismo anaerobio (descomposición de materia orgánica en pantanos, turberas ...), aunque también de volcanes, escapes de refinerías de petróleo y fábricas de gas. De forma natural se oxida en muy pocos días transformándose en  $\text{SO}_2$ . Excepto el  $\text{H}_2\text{S}$  todos los demás son óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ).

#### 4.3.1.3 Compuestos de nitrógeno.

$\text{NO}$  (gas incoloro, inodoro, tóxico),  $\text{NO}_2$  (gas pardo rojizo, olor asfixiante, muy tóxico),  $\text{N}_2\text{O}$  (gas incoloro, no tóxico),  $\text{NH}_3$  (amoníaco de olor irritante). Gran parte del  $\text{NO}$  se transforma en  $\text{NO}_2$  mediante reacciones fotoquímicas y el amoníaco se oxida a óxidos de nitrógeno. Óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) son todos excepto el amoníaco  $\text{NH}_3$ .

Origen. Combustibles, motores, vehículos, aviones. Industria química. Fabricación de fertilizantes. Descargas eléctricas en tormentas. Incendios forestales. Erupciones volcánicas. Acción bacteriana en el suelo. En resumen el  $\text{NO}_2$  procede casi en su totalidad de las combustiones de origen antrópico, el  $\text{NO}$  tiene varios orígenes entre ellos también las combustiones y el  $\text{N}_2\text{O}$  procede de la desnitrificación bacteriana, cada vez más abundante por el uso de abonos nitrogenados a gran escala (aunque también puede proceder de las combustiones). El amoníaco procede sobre todo de la descomposición anaerobia.

Efectos. Sobre los tintes textiles, las corrosiones en estructuras metálicas y el aparato respiratorio (en los 3 casos  $\text{NO}_2$ ), sobre el crecimiento de las plantas ( $\text{NO}_2$ ), incremento del efecto invernadero ( $\text{N}_2\text{O}$ ). El  $\text{NO}_2$  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  $\text{NO}_2$  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 Óxidos de carbono.

Óxidos de carbono. El  $\text{CO}$  (gas incoloro, inodoro, insípido, inflamable, tóxico, es el contaminante del aire más abundante (porque el  $\text{CO}_2$  no se considera contaminante propiamente dicho, por ser producido en la respiración y usado en la fotosíntesis de forma natural) y de más amplia distribución),  $\text{CO}_2$  (gas incoloro, inodoro, no tóxico).

Origen. Combustión de combustibles fósiles y de biomasa genera  $\text{CO}_2$  si hay suficiente oxígeno, si no forma  $\text{CO}$  (combustión incompleta, los vehículos generan mucho  $\text{CO}$ ), erupciones volcánicas e incendios forestales generan ambos óxidos de carbono. El  $\text{CO}_2$  se forma en la respiración celular de los seres vivos e incluso en algunas fermentaciones. La degradación de la clorofila, la emisión por los océanos y descomposiciones anaerobias de metano ( $\text{CH}_4$ ) son otras fuentes de  $\text{CO}$  (esta última es la fuente más abundante de  $\text{CO}$ ). El  $\text{CO}$  se puede transformar en  $\text{CO}_2$  (por hongos del suelo no presentes en las ciudades).

Efectos. Sobre los aparatos respiratorio y circulatorio (CO) ya que el monóxido de carbono bloquea la capacidad de la hemoglobina para transportar el oxígeno ya que se une a la hemoglobina, 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 (a los vegetales y animales inferiores no afecta porque no tienen hemoglobina). Incremento del efecto invernadero (CO<sub>2</sub>).

#### 4.3.1.5 Hidrocarburos.

La mayor parte de los hidrocarburos de la atmósfera son de origen natural como la descomposición anaerobia de la materia orgánica (pantanos, marismas, aparatos digestivos sobre todo de herbívoros...) que produce el más abundante y menos reactivo de los hidrocarburos que es el metano (CH<sub>4</sub>), aunque produce efecto invernadero. Las plantas liberan los hidrocarburos terpenos (componentes volátiles de resinas y esencias).

Los de origen antrópico se forman en arrozales, depuradoras y vertederos (CH<sub>4</sub> por descomposición), evaporación de disolventes orgánicos (usados en pinturas, barnices, lacas...) y sobre todo por industrias petrolíferas y vehículos. Los hidrocarburos son muy abundantes en las ciudades.

Además del efecto invernadero producido por el metano, el principal efecto de los hidrocarburos es que pueden reaccionar en la atmósfera (por procesos de oxidación fotoquímica) dando contaminantes secundarios muy perjudiciales como el ozono troposférico que a su vez induce la formación de otros oxidantes fotoquímicos (intervienen en el smog fotoquímico) como PAN (nitrato de peroxiacetilo), PPN (nitrato de peroxipropionilo), NPBz (nitrato de peroxibenzoilo) y ácidos nítrico y sulfúrico.

Es muy importante destacar otros compuestos orgánicos de carbono, aunque no son estrictamente hidrocarburos (sólo C y H), como las dioxinas y furanos y los policlorobifenilos (PCB), los 3 tienen efectos cancerígenos y mutagénicos y son producidos en la incineración de residuos que contienen sustancias cloradas y en reacciones durante el tratamiento de productos químicos clorados (como sucede en la industria química de pesticidas).

#### 4.3.1.6 Compuestos halogenados y sus derivados.

Son sustancias que contienen cloro y flúor, destacan: Cl<sub>2</sub> (muy tóxico), HCl (ácido clorhídrico o cloruro de hidrógeno, de olor fuerte e irritante), CFCs (clorofluorocarbonos) y HF (ácido fluorhídrico o fluoruro de hidrógeno, gas incoloro, olor irritante y muy corrosivo).

Origen. Erupciones volcánicas, emisiones marinas. Industrias químicas, aerosoles, vehículos e industrias. Los plásticos conocidos como PVC (policloruros 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 no son tóxicos ni inflamables y son muy estables por lo que se emplean en aerosoles, formación de espumas, refrigerantes y frigoríficos, pero en la estratosfera provocan la destrucción de la capa de ozono, irritación de las vías respiratorias y mucosas (sobre todo el cloro), decoloración de las plantas, 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), por lo que se acumulan en los seres vivos transfiriéndose a través de las cadenas alimentarias, entre los más nocivos destacan: **Pb**, **Cd**, **Hg**, **Ar**, **Ni**. (aprender sobre todo el plomo y el mercurio que son los más conocidos).

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 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).

#### 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.

Las radiaciones ionizantes son una serie de partículas u ondas electromagnéticas que se caracterizan por producir cambios en la materia que atraviesan al ionizar los átomos que la forman. Son los rayos X, y  $\gamma$  (gamma) y las partículas  $\alpha$  y  $\beta$ . Las más penetrantes, y por tanto, las más peligrosas son los rayos X (poder de penetración de decímetros) y gamma (metros).

Origen. Desintegración natural de átomos presentes en rocas y minerales. Residuos explosivos nucleares, actividades de investigación que emplean marcadores radiactivos, actividades médicas de tratamiento y exploración (rayos X, gammagrafías...) y todo lo relacionado con las centrales nucleares como la minería del uranio, el enriquecimiento del uranio, los residuos de las centrales nucleares, accidentes en las centrales, escapes...

Efectos. El gran peligro de estas radiaciones es que pueden afectar al ADN, hasta provocar mutaciones que pueden transmitirse genéticamente, cáncer, malformaciones genéticas, etc.

### 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.

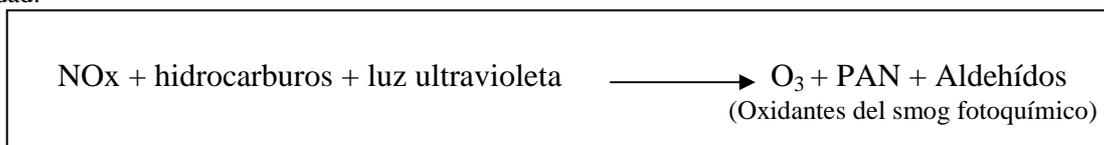
#### 4.3.2.1 Anhídrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>) y ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

El SO<sub>3</sub> formado a partir del SO<sub>2</sub>, es un gas incoloro que participa en el smog clásico (corrosivo y peligroso para el aparato respiratorio) y se condensa rápidamente y reacciona con el agua para formar el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> que es un contaminante secundario responsable de la lluvia ácida, junto con el HNO<sub>3</sub>.

#### 4.3.2.2 Tritóxido de nitrógeno (NO<sub>3</sub>)

El NO<sub>3</sub> procede de la oxidación del NO<sub>2</sub> por el ozono, juega un papel destacado en el smog fotoquímico u oxidante que irrita las vías respiratorias y daña a las plantas.

Curiosidad:



### 4.3.2.3 Nitrato de peroxiacetileno (PAN)

Se forma a partir de los hidrocarburos mediante una reacción fotoquímica (ver reacción química anterior). Es una de las sustancias responsables del smog fotoquímico y como todas las otras sustancias contaminantes del smog fotoquímico es un oxidante (irrita las vías respiratorias y daña a las plantas).

### 4.3.2.4 Ozono troposférico (O<sub>3</sub>).

Gas azul pálido, irritante y picante. Se descompone fácilmente, lo que explica su poder oxidante.

Origen. Acción de la radiación ultravioleta sobre el O<sub>2</sub>, acción de la luz ultravioleta sobre los NOx e hidrocarburos, descargas eléctricas sobre el O<sub>2</sub> atmosférico.

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 a las plantas y materiales.

## 4.4 DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES. EMISIÓN E INMISIÓN.

- Emisión; es la cantidad de contaminante emitido desde cualquier medio emisor (fuente contaminante) en un período de tiempo determinado. Se suele expresar en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  o en ppm. 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. Por ejemplo la cantidad de contaminante presente en la clase, la calle o cualquier otro lugar.

La dispersión de los contaminantes, para evitar valores altos de inmisión en un lugar determinado, depende de las características de las emisiones, de las condiciones atmosféricas y de características geográficas y topográficas.

### 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. Si es un gas permanecerá en la atmósfera mucho más tiempo que si es una partícula (sólido o líquido) que se deposita más rápidamente.
- Temperatura de emisión. En el caso de contaminantes gaseosos, si su temperatura en el momento de salir a la atmósfera es mayor que la del aire circundante, el contaminante ascenderá hasta las capas altas facilitándose su dispersión. Por el contrario, si su temperatura es menor que la del aire circundante se acumulará en las partes bajas de la atmósfera.
- Velocidad de salida del contaminante. A mayor velocidad, más rápido asciende y, en caso de inversión térmica, mayor probabilidad hay de que atraviese la capa invertida y pueda dispersarse más fácilmente.
- Altura del foco de la fuente emisora. A mayor altura, mayor facilidad para que se produzca la dispersión del contaminante (chimeneas de gran altura donde hay más viento o simplemente a mayor altura que la que suele producirse la capa de inversión facilitará la dispersión de los contaminantes).

#### Condiciones atmosféricas: temperatura del aire y sus variaciones con la altura, inversión térmica, precipitaciones, insolación.

La capacidad de la atmósfera para dispersar y diluir los contaminantes viene determinada por las condiciones atmosféricas locales.

Los factores de la atmósfera que más influyen son:

- **Temperatura del aire y sus variaciones con la altura: El Gradiente Térmico Vertical (GTV).** Si con la altura la temperatura va disminuyendo en suficiente proporción, los contaminantes ascenderán con el aire y según lo hagan se irán expandiendo, disminuyendo su concentración, 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 (zona donde el aire asciende en altura en lugar de descender), ya que los contaminantes quedan atrapados cerca de la superficie. Los anticiclones favorecen la formación de nieblas contaminantes. Sin vientos importantes, temperaturas bajo cero y una gran estabilidad atmosférica no hay dispersión ni dilución de contaminantes. Con anticiclones es más probable que se den situaciones de **inversión térmica**: donde las temperaturas a nivel del suelo son inferiores a las temperaturas en altura. Las inversiones se dan frecuentemente durante la noche, como consecuencia del enfriamiento del suelo; también 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 favorece las reacciones que dan lugar a algunos contaminantes secundarios (reacciones fotoquímicas).

### **Características topográficas y geográficas: existencia o no de brisas marinas, existencia de valles, presencia de masas vegetales, presencia de núcleos urbanos (isla de calor).**

La situación geográfica y el relieve tienen una influencia en el origen de brisas, que arrastran los contaminantes o provocan su acumulación.

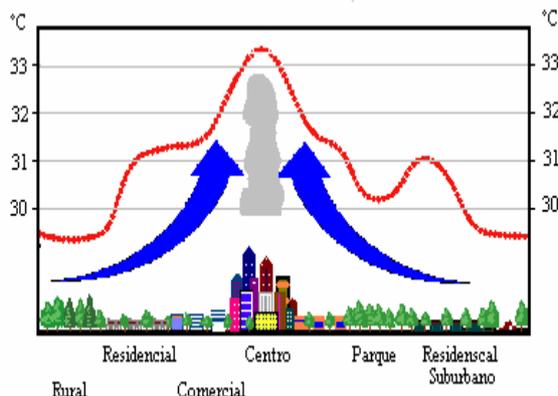
La **presencia de masas vegetales** disminuye la cantidad de contaminación en el aire, al frenar la velocidad del viento, facilitando la deposición de partículas.

La **topografía** puede favorecer las situaciones de inversión térmica, bien por la presencia de montañas costeras que dificultan la acción de las brisas marinas, o configurando valles profundos en los que, en invierno, la insolación llega con dificultad al fondo del valle.

### **ISLAS DE CALOR**

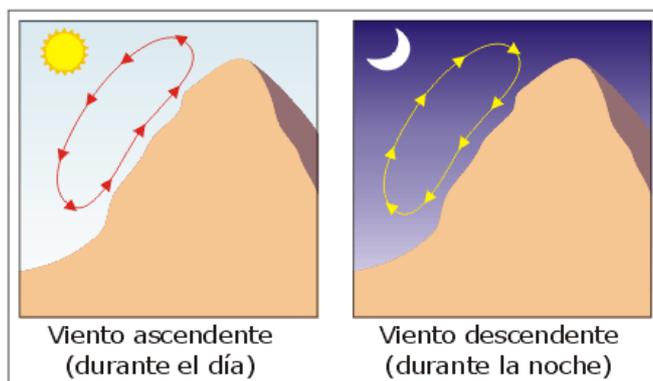
Las áreas urbanas producen calor (además del calor producido dentro de la ciudad por las actividades humanas, tenemos que materiales de construcción como el ladrillo, el asfalto y el cemento que absorben y retienen el calor de manera más eficiente que el suelo y la vegetación) y contaminación, además sus construcciones frenan los vientos suaves. Se observa que las ciudades suelen tener varios grados más de temperatura que en las afueras, por eso se les llama **isla de calor**. Al tener el aire mayor temperatura en la ciudad que en su periferia, el aire caliente urbano asciende y es sustituido por aire de la

periferia (donde suelen haber industrias contaminantes) que se introduce en la ciudad; al enfriarse el aire urbano que ascendió, desciende por la periferia de la ciudad, el cual volverá al centro urbano cerrando el ciclo. Por tanto, en ausencia de vientos fuertes y lluvias la dispersión de los contaminantes no es fácil, ya que el carácter cíclico de los vientos dificulta la dispersión de los contaminantes produciendo lo que se conoce como **cúpula de contaminantes** que rodea la ciudad (en ocasiones desde lejos antes de entrar con el coche a la ciudad se puede distinguir la cúpula de contaminantes que envuelve algunas ciudades)



## 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 (al no darle el Sol) se acumula aire frío y se origina una situación de inversión que impedirá la dispersión de los contaminantes. Durante la noche sucede lo contrario: el aire de las laderas se enfría debido al enfriamiento terrestre, el aire desciende al valle desde las colinas más altas. Durante las noches, como por la ladera desciende aire frío se crea una situación de inversión térmica, que provoca la acumulación de contaminantes.



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 un lado oriental de la montaña, en tanto que el otro lado todavía permanece oscuro y frío. El aire se eleva sobre el lado iluminado y desciende sobre el lado oscuro. Al mediodía, los rayos del Sol caen sobre los dos lados y los calientan. Al final de la tarde, la situación es similar a la de la mañana, pero de manera inversa. Después de la oscuridad, a medida que el aire se enfría debido al enfriamiento terrestre, el aire desciende al valle desde las colinas más altas.

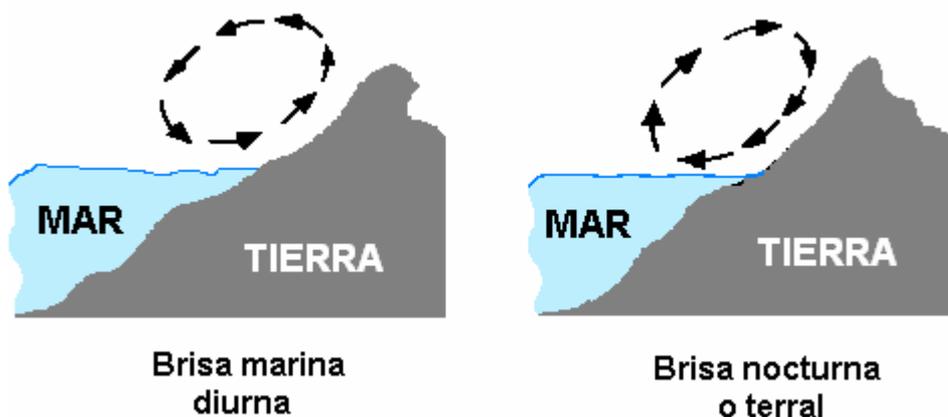


Este calentamiento diferencial genera vientos ascendentes durante el día y descendentes a lo largo de las laderas de montaña. Los valles forman a menudo una especie de circo con laderas en todas las direcciones. Durante las horas centrales del día y por calentamiento solar, se producen ascensiones sobre las laderas del valle expuestas al Sol. Paralelamente, se producen movimientos compensatorios que trasladan aire desde el fondo del valle hacia esas laderas, y si ese aire no es suficiente, aspiran el mismo desde otros valles o llanuras próximas. Todo esto se traduce en fuertes ascensiones sobre las laderas expuestas al Sol, así como descendencias en la parte central del valle.

A última hora de la tarde ocurre lo contrario, es decir, por enfriamiento de las laderas que ya no son calentadas por el Sol, el aire escurre desde las mismas hacia el fondo del valle, de forma que todo este aire que baja actúa como una cuña sobre el centro del valle, levantando el aire cálido que aún quede procedente de los relieves que aún conservan calor. Esto sucede hasta que el Sol se oculte por completo y es lo que se llama restitución térmica. Por la noche, cuando todo se ha enfriado no hay ningún tipo de ascendencia, y el aire, más frío y pesado, se deposita como una losa sobre el fondo del valle.

## BRISA MARINA.

En las zonas costeras se originan sistemas de brisas que durante el día desplazan los contaminantes hacia el interior (la tierra se calienta más y el aire asciende, provocando que sea sustituido por aire que viene del mar), mientras que durante la noche, al invertirse la circulación de las mismas (la tierra se enfría más y el mar está más caliente), la contaminación se desplaza hacia el mar. Las brisas marinas favorecen la dispersión de los contaminantes (sin la brisa marina habría menos viento), pero este carácter cíclico hace que los contaminantes no se dispersen completamente. Origen de la brisa marina: Las propiedades térmicas de la tierra y el agua son diferentes. La tierra y los objetos que se encuentran sobre ella se calentarán y enfriarán rápidamente; el agua lo hace lentamente. Mientras el Sol irradia sobre la interfaz tierra-agua, la radiación solar penetra varios metros a través del agua. Por otro lado, la radiación solar que alcanza la superficie terrestre sólo calentará los primeros metros, y de manera rápida. El aire adyacente se calienta, se hace menos denso y se eleva. El aire frío sobre el agua se desplaza tierra adentro y se desarrolla una circulación local desde el agua (mar, lagos y anchos ríos), conocida como “brisa marina” o “brisa agua-tierra”.



Por la noche, el aire que está sobre la tierra se enfría rápidamente debido a la irradiación, que hace que la temperatura de la tierra disminuya más rápidamente que la del cuerpo adyacente de agua. Esto crea un flujo de retorno

llamado “brisa terrestre”. Las velocidades del viento en una brisa terrestre son ligeras; mientras que las velocidades del viento en el mar pueden ser muy aceleradas. La presión diferencial sobre la tierra y el agua causa las brisas marinas. Con éstas (durante el día), la presión sobre la tierra calentada es menor que la presión sobre el agua más fría. En cambio, con las brisas terrestres (durante la noche) ocurre lo contrario.

#### **4.5 EFECTOS DE LA DISPERSION DE CONTAMINANTES: locales (smog sulfuroso o húmedo y smog fotoquímico), regionales (lluvia ácida; ver mas adelante) o globales (agujero de la capa de ozono; ver mas adelante).**

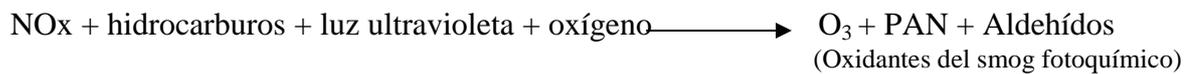
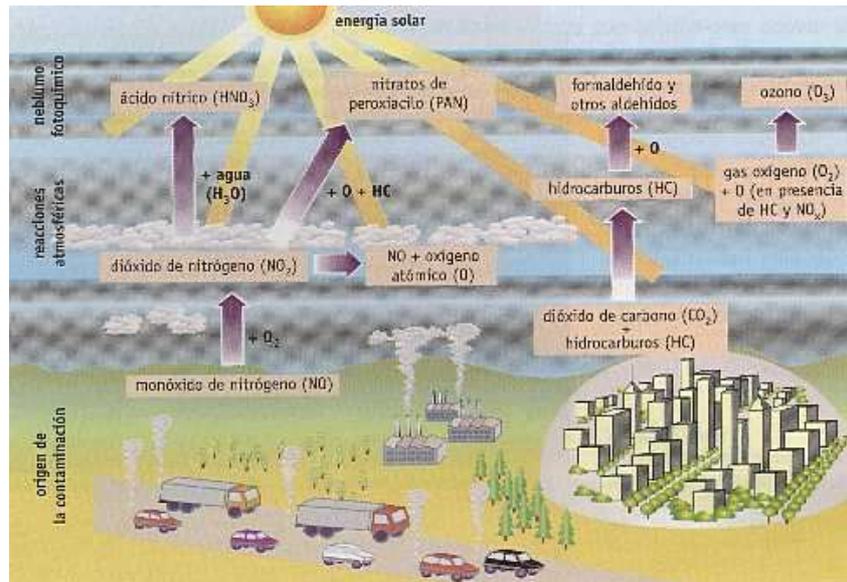
Consideramos efectos globales aquellos que abarcan la totalidad del planeta y que sólo pueden mitigarse si se actúa sobre su origen. Se incluyen en globales el agujero de la capa de ozono y el cambio climático producido por la acumulación en la atmósfera de gases de efecto invernadero. Los efectos regionales abarcan grandes extensiones de terreno como Europa, pero no a todo el planeta. Los efectos regionales y globales se verán en los apartados 5 y 6 , ahora sólo veremos los efectos locales (smog).

##### **Efecto Local: SMOG sulfuroso y fotoquímico del ozono, de los radicales libres activos y de los PAN.**

Los efectos locales más importantes son los ocasionados por cada uno de los contaminantes y la formación de nieblas contaminantes o smog (viene del inglés smoke = humo y fog = niebla). Estas nieblas o smogs provocan una elevada pérdida de calidad del aire y graves alteraciones en la salud humana. Existen dos tipos de smog: clásico (o húmedo o invernal o ácido o sulfuroso o “puré de guisantes”) y fotoquímico (o estival).

El **smog clásico o sulfuroso** es típico de ciudades con alto contenido en  $\text{SO}_2$  en el aire, elevada humedad atmosférica, con partículas y situaciones anticiclónicas. Se conoció y estudió a partir del grave proceso de contaminación en Londres en 1952 donde murieron 4.000 personas: El Támesis produce nieblas que, en invierno, se hacen estables debido al fenómeno de la inversión térmica; estas nieblas acumulaban contaminantes procedentes de las industrias. Al ser el origen de la contaminación atmosférica la quema de combustibles fósiles, especialmente el carbón, los contaminantes que caracterizan el smog son;  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{SO}_2$  y una gran cantidad de partículas en suspensión que daba a la niebla una cierta consistencia (de ahí la denominación “puré de guisantes”). Los efectos que producen se centran en el aparato respiratorio: irritación de las mucosas, tos, asma, etc. También provocan una disminución considerable de la visibilidad y deterioran las hojas de las plantas decolorándolas y endureciéndolas.

El **smog fotoquímico** 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 dificultan la dispersión de contaminantes y refuerzan la capa de inversión térmica que se forma en las primeras horas del día (con anticiclón el suelo por la noche se enfría más que el aire pudiendo formar una inversión térmica que desaparecería en condiciones normales con las primeras horas de Sol, pero la niebla disminuye el calentamiento del suelo impidiendo la desaparición de la inversión) y puede durar bastante tiempo si la situación anticiclónica es estacionaria. El smog fotoquímico se caracteriza por la presencia de bruma, formación de  $\text{O}_3$ , PAN y aldehídos. Los efectos sobre las personas se localizan fundamentalmente en las mucosas, produciendo irritación en los ojos y la nariz y complicaciones respiratorias en niños, en ancianos y en personas con trastornos respiratorios (otros efectos pueden ser dolores de cabeza y alergias). Sobre las plantas actúa reduciendo la actividad fotosintética. También tiene un efecto corrosivo importante sobre los metales, cuero, fibras sintéticas y sobre el caucho. Y, además, el  $\text{O}_3$  es un gas con efecto invernadero. La niebla que se forma, de color parduzco, reduce la visibilidad.



## 4.6 DETECCIÓN, PREVENCIÓN Y CORRECCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.

### 4.6.1 Detección de la contaminación atmosférica: redes de estaciones de vigilancia e indicadores biológicos de contaminación (líquenes).

Una red de estaciones de vigilancia, permite saber el nivel de las concentraciones de los contaminantes en un lugar y en cada momento; está formada por estaciones con sensores que detectan los niveles de inmisión de contaminantes o por estaciones donde se toman muestras que posteriormente se analizarán en un laboratorio. Las primeras son las mejores porque saben los niveles de inmisión a tiempo real. También están las redes de vigilancia de emisiones utilizadas para conocer la contaminación que emiten grandes focos como centrales térmicas, refinerías...; cuando se trata de pequeños focos como calefacciones domésticas, vehículos..., se suelen obtener los datos mediante estimaciones. Una situación normal en una gran ciudad es que haya varias estaciones de detección de la contaminación repartidas por diferentes puntos de la ciudad y un centro de control donde llega la información de todas las estaciones y se encargan de alertar a las autoridades e industrias cuando la contaminación supera los niveles permitidos.

Los líquenes son bioindicadores de contaminación atmosférica excelentes, 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.

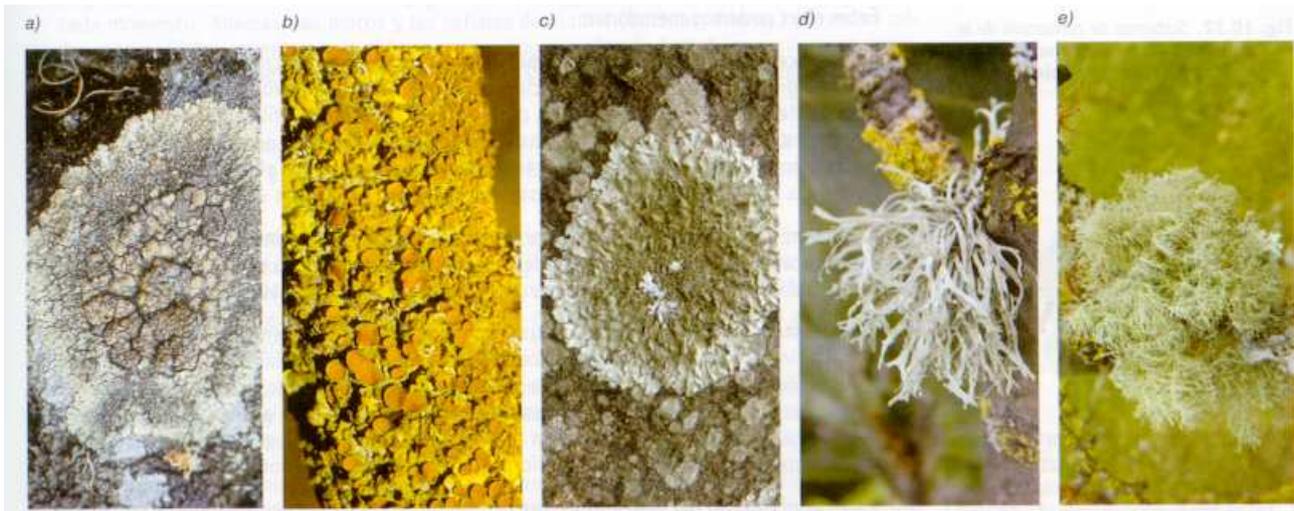


Fig. 10.31. Especies de líquenes y grado de contaminación por SO<sub>2</sub> que soportan: a) *Lecanora* (alto nivel de contaminación); b) *Xanthoria* (nivel de contaminación medio); c) *Parmelia* (contaminación escasa); d) *Ramalia* (ausencia de contaminación casi total); e) *Usnea* (ausencia de contaminación).



#### 4.6.2 Prevención de la contaminación atmosférica: ordenación territorial, tecnologías de baja emisión, educación ambiental, cumplimiento de acuerdos internacionales, medidas políticas arriesgadas, cumplimiento de los principios operativos de sostenibilidad (de la emisión sostenible, de emisión 0, de integración sostenible, de selección sostenible de tecnologías de precaución), etc.

Las más comunes son:

- Planificación de los usos del territorio (**ordenación territorial**). Deben establecer los lugares idóneos para realizar las diferentes actuaciones humanas, de forma que sus efectos sobre las poblaciones, la biosfera y los materiales sean los menores posibles.
- Realización de estudios de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). Son estudios previos a la realización de actuaciones humanas sobre el medio que puedan ocasionar impactos ambientales, con el fin de establecer medidas correctoras que mitiguen los impactos antes de que aquellos se lleven a cabo.
- Programas de I+D relativos a la búsqueda y aplicación de fuentes de energía alternativas y menos contaminantes, sobre todo fuentes de energía renovables.
- Mejora de la calidad y el tipo de combustibles como gasolinas sin plomo, combustibles con menor contenido de azufre como el gas natural (el menos contaminante de los combustibles fósiles).
- Medidas legislativas con el establecimiento de normativas sobre calidad del aire por parte de las administraciones locales, regionales, nacionales e internacionales.
- Empleo de **tecnología moderna de baja** o nula **emisión** de contaminantes.
- Necesidad de establecer y cumplir **acuerdos internacionales**.

- **Educación ambiental.** Las Administraciones públicas tienen que informar a los ciudadanos de los problemas que ocasiona la contaminación y que los ciudadanos sean conscientes de la contaminación que ellos mismos producen tanto en sus hogares como en sus actividades.
- **Principios operativos de sostenibilidad:** pretenden garantizar las capacidades de reproducción de la biosfera atendiendo a los siguientes criterios operativos:
  - Principio de la recolección sostenible: las tasas de recolección de los recursos renovables (suelo, especies silvestres, bosques, ecosistemas marinos, etc.) no ha de superar su capacidad de regeneración.
  - Principio del vaciado sostenible: es casi-sostenible la explotación de recursos naturales no renovables cuando su tasa de vaciado sea igual a la tasa de creación de sustitutos renovables (la extracción de petróleo comportaría la plantación de árboles para la obtención de alcohol a partir de madera).
  - Principio de emisión sostenible: las tasas de emisión de residuos o tasas de descargas deben ser iguales a las capacidades naturales de asimilación o tasas de absorción de los ecosistemas a los que se emiten esos residuos (lo cual implica emisión cero de residuos acumulativos o no biodegradables).
  - Principio de irreversibilidad cero (o de emisión cero): Reducción a cero de los impactos ambientales irreversibles (desertización, extinción de especies, etc.)
  - Principio de desarrollo equitativo (integración sostenible?): Además de garantizar el desarrollo de las generaciones venideras, se trata de conseguir una mejor calidad de vida de todos los habitantes del planeta: acceso a la sanidad, a la educación y a las tecnologías de la información; y erradicar la pobreza, la marginación, las desigualdades y los conflictos sociales (el desarrollo económico con igualdad dando un equitativo acceso a bienes básicos a todas las personas y no un desarrollo que favorezca sólo a unos pocos).
  - Principio de selección sostenible de tecnologías: Es preciso favorecer las tecnologías limpias y eficientes, es decir, que se aumente la cantidad aprovechable por cada unidad de recurso empleado.
  - Principio de precaución. Según este principio, ante la magnitud de los riesgos a que nos enfrentamos se debería imponer una actitud de vigilante anticipación que identifique y descarte de entrada las vías que podrían llevar a desenlaces catastróficos, aún cuando la probabilidad de éstos parezca pequeña y las vías alternativas más difíciles u onerosas (costosas).

#### **4.6.3 Corrección de la contaminación atmosférica (sólo citar): pantallas acústicas, almacenes de CO<sub>2</sub>, concentración y retención de partículas, sistemas de depuración de gases, etc.**

Algunas medidas correctoras que se utilizan con frecuencia son:

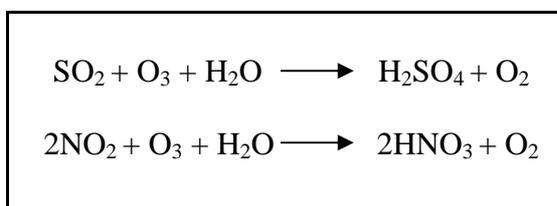
- Chimeneas de gran altura para ayudar a la dispersión de los contaminantes.
- Sistemas de depuración de gases que emplean mecanismos de absorción basados en la circulación de líquidos capaces de disolver el contaminante gaseoso, métodos de adsorción que emplean sólidos que retienen selectivamente los contaminantes a eliminar, procesos de combustión de gases mediante el empleo de antorchas o quemadores y procesos de reducción catalítica en el caso de contaminantes que se pueden transformar en compuestos no tóxicos al reaccionar con un agente reductor.
- Concentración y retención de partículas con equipos adecuados, como los separadores de gravedad, basados en la acción de la gravedad; los filtros de tejido, en los que la corriente de aire con las partículas pasa a través de un tejido filtrante; los precipitadores electrostáticos, donde las partículas cargadas eléctricamente por la acción de un campo magnético se depositan en unos electrodos que las atraen, y los absorbedores húmedos que fijan las partículas a un líquido absorbedor. Estos métodos tienen el inconveniente de que pasan los contaminantes del aire a residuos sólidos o líquidos (pasan la contaminación de un sitio a otro pero no la elimina).
- Colocación de pantallas acústicas en autovías y otras carreteras muy transitadas o ruidosas a su paso por centros urbanos.

- Procesos de combustión.
- Utilización de vehículos eléctricos.
- Convertidores catalíticos (catalizadores) como los que llevan los coches más actuales en el tubo de escape, catalizando la destrucción de varios tipos de contaminantes.
- Almacenamiento de CO<sub>2</sub> bajo tierra: se trata de tomar el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que sale de las chimeneas de las centrales térmicas y, en vez de lanzarlo a la atmósfera, inyectarlo bajo tierra a suficiente presión como para que se quede allí inerte. Así se reducen las emisiones y se puede producir electricidad sin emitir tanto CO<sub>2</sub>, algo especialmente necesario en España, el país desarrollado que más se aleja de sus compromisos del Protocolo de Kioto y que ya ha triplicado el tope pactado para 2012. Hay formas de inyectarlo en acuíferos que sean inservibles para el uso humano o en formaciones impermeables, como minas de sal, capas de carbón o un tipo de pizarras. Hay depósitos económicos, como podría ser inyectar el CO<sub>2</sub> producido en una central de gas en el mismo yacimiento del que se obtiene el gas. Esto aumenta la presión de la bolsa de gas y aumenta la extracción de más gas.
- Almacenamiento de CO<sub>2</sub> en mares y océanos: se inyecta el CO<sub>2</sub> en aguas profundas; al igual que el almacenamiento bajo tierra, son técnicas inmaduras donde se desconocen los posibles efectos secundarios (posibles impactos ambientales), son técnicas caras y en el caso del almacenamiento en aguas profundas hay algunas fugas.

## 5 LA LLUVIA ÁCIDA.

La lluvia puede tener de manera natural un cierto grado de acidez con valores de pH de 5,6. Esta acidez natural se produce por la disolución del CO<sub>2</sub> atmosférico en las gotas de agua, originando H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (ácido carbónico, es un ácido débil) que posteriormente precipita con la lluvia. Valores inferiores a pH 5-5,6 en la lluvia se consideran lluvia ácida. Ésta es debida principalmente a la oxidación del SO<sub>2</sub> y del NO<sub>2</sub> (otros como el HCl son menos abundantes) formándose los ácidos sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y nítrico (HNO<sub>3</sub>) respectivamente. El dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) es el que más contribuye a la lluvia ácida ya que es más soluble que el dióxido de nitrógeno y su oxidación es más fácil (se puede decir que <sup>2</sup>/<sub>3</sub> de la acidez la origina el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y <sup>1</sup>/<sub>3</sub> es debida al HNO<sub>3</sub>).

La reacción más frecuente de oxidación es con el ozono (puede ser con otros oxidantes como radicales OH<sup>-</sup>):



La combustión de combustibles fósiles (vehículos, centrales térmicas y diversos procesos industriales) es el principal causante de la lluvia ácida (emiten SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>), sobre todo la combustión de carbón que contiene mucha cantidad de azufre.

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

- Deposición seca. Cuando los SO<sub>2</sub> y los NO<sub>2</sub> se depositan cerca de los focos emisores en la superficie terrestre al poco tiempo de ser emitidos. Sus efectos son tan dañinos como la deposición húmeda.
- Deposición húmeda. Si, por el contrario, estos compuestos permanecen más tiempo en la atmósfera, sufren el proceso de oxidación formándose los ácidos sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y nítrico (HNO<sub>3</sub>). Estos ácidos se disuelven en el agua atmosférica produciendo una precipitación ácida en forma de lluvia, nieve o granizo (incluso nieblas o rocíos).

Contaminación transfronteriza: Puesto que estos compuestos que producen la lluvia ácida pueden ser transportados a largas distancias desde las fuentes emisoras hasta que precipiten, dicha lluvia podrá afectar a zonas y ecosistemas muy diversos, a cientos de kilómetros de los focos emisores, produciéndose el efecto conocido como contaminación transfronteriza, así por ejemplo los

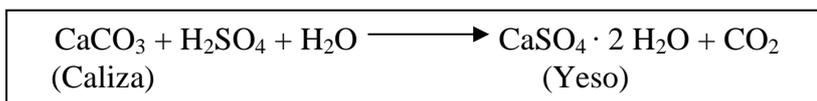
contaminantes producidos por Gran Bretaña y Alemania se trasladan hacia Noruega, Dinamarca y los países del Este, donde la lluvia ácida ha acabado con grandes extensiones de bosques y con la vida de muchos de sus lagos. Este efecto se ha visto aumentado por la construcción de chimeneas muy altas que favorecen la dispersión de los contaminantes hacia lugares alejados a los focos de emisión.

Los efectos más importantes de la lluvia ácida son:

- Acidificación de las aguas superficiales, sobre todo de las estancadas, los lagos y las lagunas (en los ríos al irse renovando el agua tardaría más en acidificarse). La acidificación del agua facilita la disolución de iones metálicos ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  ...) tóxicos y con capacidad bioacumuladora, provocando problemas en los eslabones siguientes de las cadenas tróficas, incluidos humanos. Un 40% de los 85.000 lagos suecos están acidificados y unos 2.500 totalmente muertos aunque dan una falsa sensación de vitalidad porque las aguas se ven muy limpias. También la acidez causa efecto asfixia porque en aguas ácidas aumenta mucho el  $\text{CO}_2$  disuelto.
- Acidificación de los suelos, modificándose el equilibrio iónico, es decir, provoca la pérdida de elementos minerales necesarios para los vegetales ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ...) y aumentan otros potencialmente tóxicos como  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  ...
- Destrucción de la vegetación, especialmente los bosques de coníferas, de forma indirecta a través de la contaminación del suelo o directamente porque las gotas ácidas se depositan en las hojas atacando su cutícula; las hojas se vuelven amarillas y se caen, pudiendo provocar la muerte del vegetal si ocurre en la mayoría de sus hojas.



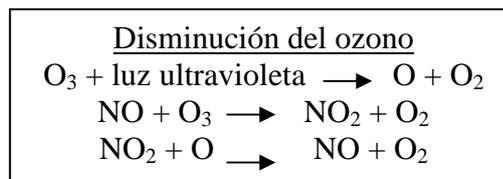
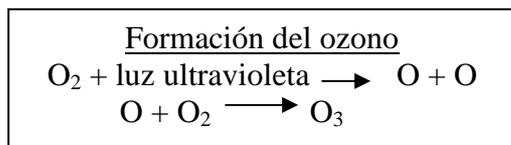
- Ataque a diferentes materiales, como corrosión de metales y la degradación y alteración de los materiales de construcción llamado "**mal de piedra**" que afecta a las rocas calizas de edificios y muchas catedrales y otros monumentos. Consiste en la transformación de la caliza en yeso (que se disuelve fácilmente) como consecuencia del ataque del ácido sulfúrico.



Los tratamientos básicos para evitar los efectos del mal de piedra consisten en sanear e impermeabilizar las rocas utilizando, por lo general, resinas sintéticas inertes u otros productos hidrófobos.

## 6. EL “AGUJERO” DE LA CAPA DE OZONO.

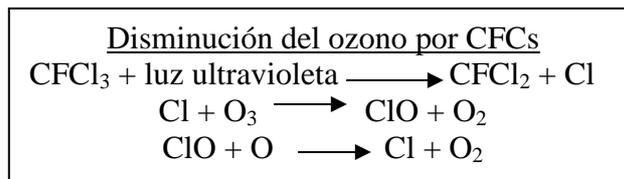
El ozono se crea y se destruye continuamente en la estratosfera de forma natural por efecto de la radiación ultravioleta. Formación: el oxígeno molecular ( $O_2$ ) absorbe radiación ultravioleta ( $\lambda < 242$  nm) originando oxígeno atómico (O) que reacciona con el  $O_2$  produciendo ozono ( $O_3$ ). Destrucción: el ozono ( $O_3$ ) absorbe luz ultravioleta de mayor longitud de onda que el  $O_2$  ( $\lambda < 310$  nm) disociándose en oxígeno molecular y oxígeno atómico. Además, existen sustancias como los óxidos de nitrógeno ( $NO_x$  y  $N_2O$ ) producidos de forma natural en las tormentas, volcanes e impactos de meteoritos ( $NO_x$ ) y en la desnitrificación bacteriana de los suelos ( $N_2O$ ) que actúan sobre el  $O_3$  y el O dando  $O_2$ , favoreciendo la disminución de la cantidad de ozono ( $O_3$ ). Ambos procesos de formación y destrucción de ozono se mantenían en equilibrio hasta hace unas décadas.



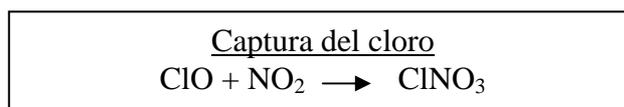
Entre los años 1977 y 1984, se detectó que la cantidad de ozono existente durante la primavera en la Antártida había disminuido en un 40 %. Los científicos denominaron a este fenómeno “el agujero de ozono”. Sin embargo, el término no se ajusta a la realidad, ya que lo que realmente se produce es una 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 que de forma natural disminuyen el ozono ( $NO_x$  y  $N_2O$ ) y a la aparición de sustancias nuevas que destruyen el ozono, sobre todo los CFCs o clorofluorocarbonos que son hidrocarburos halogenados (les añaden Cl y F).

El aumento de los  $NO_x$  es debido al uso de los combustibles fósiles y el  $N_2O$  al abuso de los fertilizantes nitrogenados en la agricultura. Aumenta la desnitrificación bacteriana del suelo al aportarles abonos nitrogenados. Es muy difícil que los  $NO_x$  lleguen 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 (no son reactivos) por lo que podrían llegar a la estratosfera donde en un proceso de fotólisis por la luz ultravioleta origina los  $NO_x$  que disminuyen el ozono (el  $N_2O$  directamente no afecta al ozono). Para que las sustancias de la troposfera lleguen a la estratosfera deben superar 3 barreras que se lo impiden: primero la inversión térmica de la estratosfera que impide el ascenso de aire a la estratosfera (en la estratosfera la temperatura aumenta con la altura en lugar de disminuir como sucede en la troposfera), segundo el agua de lluvia arrastra los contaminantes y los disuelve y tercero una barrera química formada por sustancias reactivas sobre todo radicales OH presentes en la troposfera que degradan los contaminantes que alcanzan mayores alturas, por eso las sustancias poco reactivas como los  $N_2O$  y los CFCs no son destruidas teniendo más posibilidades de llegar a la estratosfera. Los  $NO_x$  pueden llegar fácilmente a la estratosfera si provienen de pruebas nucleares (actualmente “prohibidas”) ya que el color naranja del hongo atómico en altura es debido a la gran cantidad de NO producido y la onda expansiva inyecta estos óxidos directamente en la estratosfera. También los aviones supersónicos que vuelan a gran altura en la estratosfera producen  $NO_x$ .

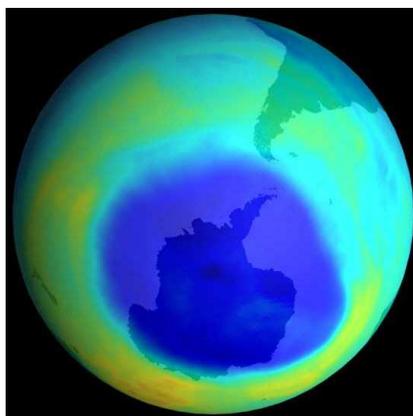
Los hidrocarburos halogenados son los grandes culpables de la destrucción de la capa de ozona de la estratosfera. Sin embargo, cuando fueron sintetizados se vio que tenían una propiedad perfecta desde el punto de vista ambiental, eran totalmente inertes en la troposfera y no formaban compuestos peligrosos para los seres vivos. La falta de actividad en la troposfera les permite llegar a la estratosfera, donde la radiación ultravioleta los descompone liberando átomos de Cl que actúan como catalizadores en reacciones de transformación de ozono en oxígeno molecular. Hay muchos tipos de hidrocarburos halogenados con Cl, F y Br. Los más utilizados son los clorofluorocarbonos (o clorofluorocarbonos) llamados CFCs o freones como el  $CFCl_3$  y  $CF_2Cl_2$ , los bromofluorocarbonos o halones, los hidroclorofluorocarbonos o HCFCs, el bromuro de metilo ( $CH_3Br$ ) usado como fungicida, el tetracloruro de carbono ( $CCl_4$ ) usado como disolvente... El Br es incluso peor que el cloro pero los bromuros son menos abundantes, el F no afecta al ozono.



Como se observa 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, y puede catalizar la destrucción de unas 100.000 moléculas de ozono antes de reaccionar con los NOx que pueden capturar el cloro e inmovilizarlo (vimos anteriormente que los NOx destruían el ozono, pero también capturan cloro, por tanto si el efecto del cloro es muy grande los NOx son más beneficiosos que perjudiciales para el ozono). Al reaccionar los NOx con el cloro producen nitrato de cloro, haciendo desaparecer el cloro de la estratosfera.



Si la pérdida de ozono se produce precisamente sobre los polos, es porque a temperaturas muy bajas se inactivan los NOx 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 NOx 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 NOx. Los CFCs se sintetizaron y produjeron masivamente hace pocas décadas para ser utilizados en la industria del frío (como refrigerantes en frigoríficos y aire acondicionado), como propelentes (sprays), formación de espumas (espumas aislantes) o en la lucha contra incendios (por ejemplo los extintores llevan hidrocarburos halogenados). 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 aquellos organismos que están en la base de las cadenas tróficas (bacterias, fitoplancton, huevos y larvas de peces) afectando al resto de los eslabones tróficos. En las plantas el incremento de los rayos ultravioletas provoca, entre otras alteraciones, la reducción del tamaño de las hojas, un menor crecimiento y una peor calidad de las semillas. Aunque se dejasen de utilizar totalmente estos compuestos (algunos están prohibidos en muchos países y otros con acuerdos internacionales de disminución de su producción) de manera inmediata, la destrucción del ozono seguirá todavía durante décadas por la acción de las moléculas

que aún quedan en la troposfera y en la estratosfera. Estudios recientes han demostrado que un 1% en la reducción de la capa de ozono acarrea un aumento de un 2% en la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre. Este aumento supone, a su vez, entre un 4 y un 6% de incremento de los carcinomas de piel.

## 7. AUMENTO DEL EFECTO INVERNADERO.

Algunos gases presentes en la atmósfera (dióxido de carbono, metano, CFCs, vapor de agua, ozono, óxidos de nitrógeno) permiten el paso de radiación solar de onda corta (visible y ultravioleta), pero retrasan la salida de la radiación de onda larga (infrarroja, es decir, calor) emitida por la superficie terrestre al retener y devolver parte de ese calor de nuevo a la superficie. Esto se traduce en un aumento de la temperatura que se conoce con el nombre de efecto invernadero, proceso natural (el efecto invernadero no es algo malo, sino su aumento) que ha hecho posible el desarrollo de la vida en nuestro planeta y que provoca que la temperatura media de la Tierra sea 15°C y que las diferencias de temperatura entre el día y la noche sean menos acusadas. En ausencia de tales gases, se calcula que la temperatura media en la superficie terrestre sería de unos -18 °C (33° C menos). Lo que está sucediendo es un calentamiento global del planeta por el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero, principalmente CO<sub>2</sub>, debido a las actividades humanas. En los últimos cien años la temperatura ha aumentado más de 0,5° C, en parte debido a un aumento de CO<sub>2</sub> en más de un 30%. Este aumento de CO<sub>2</sub> es un 70% debido a la quema de combustibles fósiles y madera y un 25% a la transformación de la caliza en cemento y de la intensa deforestación; de forma natural el CO<sub>2</sub> disminuye por la fotosíntesis y sobre todo por los océanos que lo disuelven y queda atrapado en gran cantidad formando carbonato cálcico en los fondos marinos, por ejemplo en los caparzones de corales.

Entre otras actividades humanas destacan la actividad industrial y especialmente la utilización de energía procedente de la quema de combustibles fósiles, como las que más han aumentado el contenido de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Se sabe que en los últimos miles de años la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico se mantuvo alrededor de 280 ppm (partes por millón ó 0,028%), pero a partir de la Revolución Industrial, con la quema de combustibles fósiles, comenzó su vertiginoso ascenso hasta 366,7 ppm en 1998. Ciertamente el CO<sub>2</sub> atmosférico es el principal responsable de este calentamiento (el vapor de agua produce más efecto invernadero pero no se tiene en cuenta cuando se habla del calentamiento global ni del aumento del efecto invernadero porque se supone constante no interviniendo en el calentamiento global, ya que el agua precipita limitando su cantidad en la atmósfera) pero no el único, ya que existen otros gases de invernadero incluso mucho más potentes que el CO<sub>2</sub>, aunque su incidencia en el calentamiento global no sea tanta, dada su menor concentración en la atmósfera. Destacan el metano (CH<sub>4</sub>), el ozono troposférico, el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y los CFCs. Desgraciadamente, éstos también están aumentando mucho su concentración aunque el CO<sub>2</sub> es el que juega un papel más importante en el calentamiento global (por ejemplo el metano y los CFCs aumentan por actividades distintas al uso de combustibles fósiles). El segundo gas en importancia es el metano con una concentración de 1,7 ppm, que ha aumentado en los últimos años por fuentes antrópicas, en especial por las fermentaciones del aparato digestivo del ganado, arrozales, las fugas de los oleoductos, los vertederos de residuos sólidos y la combustión de biomasa.

EEUU es responsable del 24,5 % de las emisiones mundiales de gases de invernadero y todos los países desarrollados producen el 63 % de las emisiones.



**Efectos previsibles:** elevación de las temperaturas, variaciones de las precipitaciones y en la distribución de climas, extinción de especies, devastación de bosques y producción agrícola, aumento de los incendios, subida del nivel del mar (por la 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.

De seguir con el mismo nivel de emisiones de gases de efecto invernadero (no seguimos sino que aumentamos todavía más) se postula que aumentaría la temperatura 0,3° C y subiría entre 3 y 10 cm el nivel del mar cada 10 años con aumentos de 2 a 6° C para mediados del siglo XXI y subiría unos 50 cm el nivel del mar en 2100. Es muy difícil prever realmente el aumento de los gases y de la temperatura global ya que no sabemos exactamente lo que sucedería al combinar todas las posibles retroalimentaciones negativas y positivas que podrían disminuir o potenciar el suceso respectivamente. Ejemplos: al aumentar el CO<sub>2</sub> aumentaría la fotosíntesis y el crecimiento vegetal (disminuyendo el CO<sub>2</sub>), 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 CO<sub>2</sub> en 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.

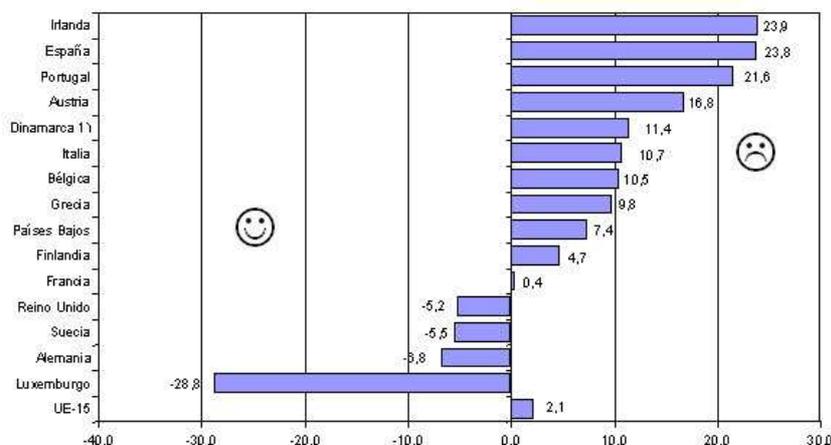
Se puede afirmar que:

- 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.

**Medidas** que podrían corregir o estabilizar el proceso: **acuerdos internacionales** para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, 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 con tecnologías menos contaminantes (por usar energías renovables o por usar filtros que disminuyen la emisión de contaminantes o por usar motores más eficientes...) utilizar gases en vez de carbón, aprovechar la actividad microbiana en los vertederos para obtener metano (en vez de que se pierda en la atmósfera recogerlo y usarlo como combustible porque es gas natural), realizar repoblación forestal, detener la producción de CFCs, buscar altos rendimientos energéticos y nuevas fuentes de energía (alternativas y de fusión), detener el crecimiento demográfico (porque aumentan las demandas de arroz, ganado y energía), emprender nuevas formas de alimentar el ganado que originen menos metano, aumento de energías renovables, mejorar la tecnología en la producción de electricidad, etc.

**Acuerdos internacionales:** en 1997 se aprobó el protocolo de Kioto que recoge, por primera vez, compromisos concretos de 38 países industrializados para reducir las emisiones de 6 gases de efecto invernadero (hasta intentar obtener las emisiones que tenían estos mismos países en 1990). El acuerdo ha sido firmado por más de 80 países (los que están en vías de desarrollo no están con límites de emisión concretos como los 38 más industrializados para los que tiene carácter

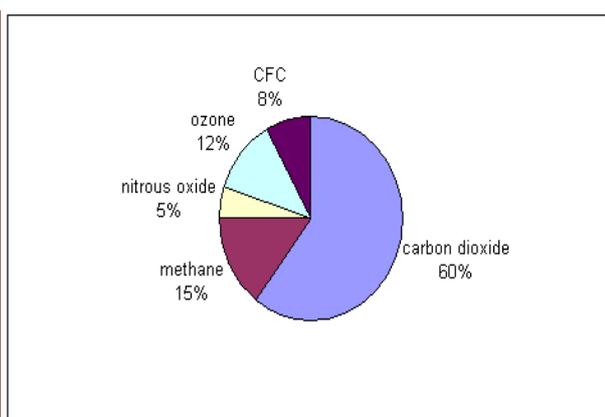
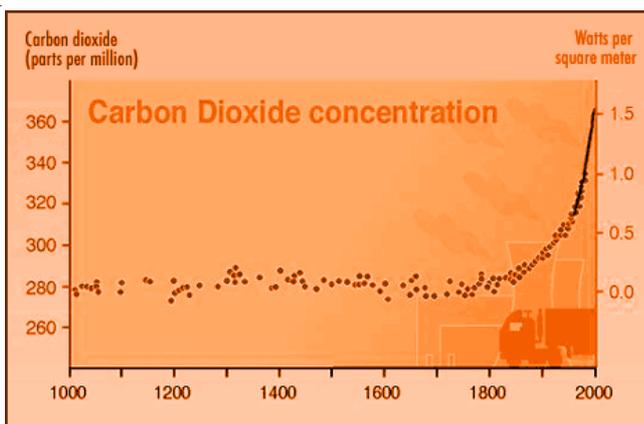
obligatorio), pero no entrará en vigor hasta que sea ratificado y, hasta ahora, Estados Unidos se niega a la ratificación del protocolo de Kioto. España no está cumpliendo el protocolo de Kioto porque entre 1990 (año base establecido por el protocolo de Kioto para volver a esos niveles de emisión) y 2004 ha aumentado en más del 35% la emisión de CO<sub>2</sub>.



## 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 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.



**EFFECTOS:** 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 ATMOSFÉRICA 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.

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

1. El que comprende las pedanías cercanas a Cartagena
2. El que comprende al resto de la Región.

En el primer caso la contaminación es originada principalmente por una potente industria de base, y abarca toda la ciudad y núcleos cercanos, es decir, es generalizada; en el segundo caso las emisiones industriales de contaminantes son enormemente 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. Sin duda, ha sido y es el Valle de Escombreras de Cartagena el núcleo con mayor contaminación atmosférica de la Región. En la zona de Cartagena-Escombreras se encuentra la mayor parte de la industria pesada, albergando más potencia instalada que el resto de la Región en conjunto.

Cartagena fue durante el período 1977-78 la ciudad de España donde los niveles del contaminante SO<sub>2</sub> son más elevados, y casi con toda seguridad de los países europeos. 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 del contaminante SO<sub>2</sub> originando desde mediados de 1981 una situación admisible para este contaminante.

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 contaminante "polvo atmosférico" y a la ciudad de Murcia.

La vigilancia de la calidad del aire en la región de Murcia parte en la década de los 70 con la instalación por parte de dicha Jefatura Provincial de Sanidad, 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 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.

Dentro de los productos contaminantes en la Región destaca manifiestamente el SO<sub>2</sub> procedente de la generación de energía térmica, refino de petróleos, fábricas de biocarburantes y combustiones. En segundo término y en función del tonelaje anual detectado, pueden citarse las partículas en suspensión y los óxidos de nitrógeno.

En Cartagena la contaminación de origen industrial representa más del 95% de la emisión global de contaminantes. En concreto la emisión de SO<sub>2</sub> puede estimarse en unas 50.000 Tm/año para la zona de Escombreras, y correspondiendo el primer lugar a la Central Térmica, y a continuación a la Refinería de Petróleos. La emisión de otros contaminantes es más reducida.

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, Mompean y Valle de Escombreras) y una estación medidora en la zona de Lorca. Existe además una estación medidora móvil. Estos datos se pueden consultar a través de la página web de la Consejería de Desarrollo Sostenible y Ordenación del Territorio.

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)**

Las partículas contaminantes en la atmósfera denominadas (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 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. DIOXIDO DE NITROGENO (NO<sub>2</sub>)**

El dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) es un gas contaminante. El dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) 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 NO<sub>2</sub> interviene también en diversas reacciones químicas en la atmósfera que dan lugar a ozono troposférico (O<sub>3</sub>) y partículas en suspensión menores de 2,5 micras, es decir, es precursor de otros contaminantes. El NO<sub>2</sub> 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  $\text{NO}_2$ . Los efectos directos del  $\text{NO}_2$  se han analizado en estudios toxicológicos de exposiciones controladas. Dichos estudios indican que el  $\text{NO}_2$  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 ( $\text{O}_3$ )**

El ozono ( $\text{O}_3$ ) troposférico, en superficie, 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. DIOXIDO DE AZUFRE ( $\text{SO}_2$ )**

El dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) 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  $\text{SO}_2$  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.