

BLOQUE III: LOS SISTEMAS FLUIDOS TERRESTRES EXTERNOS (I). ATMÓSFERA

(*) PROGRAMA DE LA ASIGNATURA según la Comisión interuniversitaria para las P.A.U. en Andalucía.

1. LA ATMÓSFERA: Concepto, composición y estructura

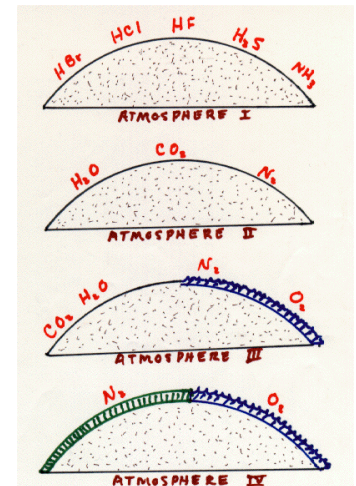
1. LA ATMÓSFERA: Concepto, composición y estructura.

Conceptos básicos: *Homosfera, heterosfera, troposfera, tropopausa, estratosfera, ozonosfera, estratopausa, mesosfera, mesopausa, termosfera, ionosfera, exosfera.*

1.1. La atmósfera: concepto

La **atmósfera** es la capa gaseosa que envuelve y protege a la Tierra. Su interacción con los demás subsistemas terrestres mantiene el equilibrio del clima y permite la vida fuera del agua. Está unida al resto del planeta por la gravedad por lo que realiza todos los movimientos del mismo, rotación, precesión, nutación y traslación. El 97% de la masa total atmosférica está retenida por la atracción gravitatoria en sus primeros 30 km.

Se formó por la desgasificación que sufrió la Tierra en las primeras etapas de su formación. Inicialmente tuvo un ambiente reductor, compuesta por CO₂, H₂O, CH₄, NH₃, H₂S, que eran los principales gases que emitían los volcanes, además de H, He, etc., pero durante el eón Arcaico (-3.800 m.a. a -2.500 m.a.) evolucionó perdiendo H y He por no ser retenidos por la gravedad, aumentando el N₂, disminuyendo el CO₂ e iniciándose la formación de O₂ a partir de la fotosíntesis que realizaban las cianobacterias (ver apartado 1.3.2. del bloque I, Introducción). Esta tendencia continuó durante el Proterozoico y Fanerozoico hasta alcanzar en la actualidad un 78 % de N₂ y un 21 % de O₂.



1.2. La atmósfera: composición

Los componentes de la atmósfera se encuentran concentrados cerca de la superficie, comprimidos por la atracción de la gravedad y, conforme aumenta la altura la densidad de la atmósfera disminuye con gran rapidez (gases enrarecidos), de forma que en los primeros 6 km se encuentra el 50 % de la masa total, y hasta el 95 % por debajo de los 15 km.

En la atmósfera podemos distinguir dos capas en función de su composición:

a) La **homosfera**, que se extiende hasta unos 80 km de altitud, formada por una mezcla de gases que denominamos **aire**, con una composición química bastante uniforme. Podemos clasificar los componentes gaseosos en tres grupos:

- **Mayoritarios**, como el **N₂** (nitrógeno molecular) con un 78% en volumen, **O₂** (oxígeno molecular) con un 20,9%, **Ar** (argón) con el 0,93% y **CO₂** (dióxido de carbono) con el 0,03%.

• **Minoritarios**, que por estar en muy pequeñas proporciones se miden en partes por millón (ppm) y que se dividen a su vez en:

- reactivos (monóxido de carbono (**CO**), metano (**CH₄**), **hidrocarburos**, óxidos de nitrógeno (**NO**, **NO₂**), amoníaco (**NH₃**), dióxido de azufre (**SO₂**), ozono (**O₃**), etc.) y
- no reactivos (He, Ne, Kr, Xn, óxido nitroso (N₂O) y H₂).

• **Variables**,

- El **agua**, que en estado sólido o líquido constituye las nubes, que a su vez determinan las precipitaciones, algo de enorme importancia para los procesos geológicos externos (erosión) y la presencia de vida en la superficie de los continentes. El agua en forma de vapor, juega un papel muy importante en la regulación del clima y en la biosfera. El contenido de vapor de agua en el aire se denomina humedad, y se puede medir de tres maneras:
 - a) **Humedad atmosférica absoluta** (Ha): vapor de agua existente en el aire g/m³
 - b) Humedad atmosférica **relativa** (Hr): = $H_a/H_s \times 100$. Siendo H_s = cantidad de vapor de agua máximo que admite 1 m³ de aire a una determinada temperatura.
 - c) Humedad de saturación o **punto de rocío**: T^a a la que se alcanza la saturación (máxima cantidad admitida de vapor de agua), pasando el excedente a condensarse en gotas de agua líquida (rocío).
- **Partículas** sólidas y líquidas (aerosoles) en suspensión. Pueden ser: partículas de polvo levantadas del suelo por el viento, partículas salinas de origen marino, humos y cenizas procedentes de erupciones volcánicas y combustiones naturales o de origen antropogénico, y microorganismos, polen y esporas.
- Los **contaminantes**, sustancias muy diversas, en proporciones variables en función de la proximidad a núcleos urbanos e industriales o a la presencia de corrientes atmosféricas que los transportan, y cuyas consecuencias ecológicas y climáticas ya han sido comprobadas como veremos más adelante.

Las escasas variaciones que presenta la homósfera con la altura están relacionadas con el vapor de agua y el ozono. La cantidad de vapor de agua es mayor cerca del suelo y prácticamente nula a partir de los 10 ó 12 km. El ozono se encuentra concentrado principalmente entre los 20 y los 50 km. El resto de los componentes, aunque sus proporciones relativas se mantengan más o menos uniformes, sus valores absolutos disminuyen con la altura debido a la compresibilidad de los gases.

Gases Permanentes			Gases Variables			
Gas	Símbolo	Porcentaje (en volumen)	Gas y partículas	Símbolo	Porcentaje (en volumen)	ppm
Nitrógeno	N ₂	78.08	Vapor de agua	H ₂ O	0 a 4	
Oxígeno	O ₂	20.95	Dióxido de carbono	CO ₂	0.037	368
Argón	Ar	0.93	Metano	CH ₄	0.00017	1.7
Neón	Ne	0.0018	Oxido de Nitrógeno	N ₂ O	0.00003	0.3
Helio	He	0.0005	Ozono	O ₃	0.000004	0.04
Hidrógeno	H ₂	0.00006	Partículas		0.000001	0.01-0.15
Xenon	Xe	0.000009	CFC _s		0.00000002	0.0002

Composición del aire de la atmósfera en las proximidades de la superficie terrestre

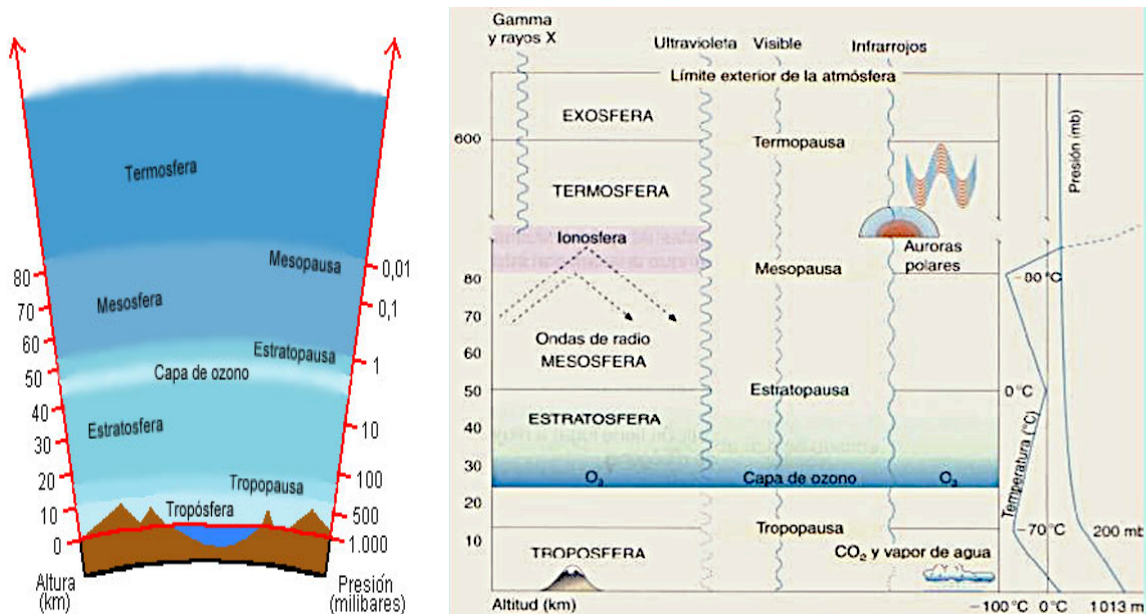
Es interesante hacer notar que, excepto los gases nobles, todos los demás elementos sean componentes fundamentales de la biosfera, aunque en proporciones diferentes, ya que tuvieron un mismo origen en la formación del sistema solar.

b) La **heterósfera** se extiende desde los 80 km hasta el límite exterior de la atmósfera. No tiene una composición de gases uniforme y la densidad del aire es muy pequeña, ya que, debido a la compresibilidad de los gases la mayor parte de la atmósfera se encuentra cerca de la superficie comprimida por su propio peso. En la heterósfera existen diferentes capas, cada una de ellas caracterizada por el predominio de un determinado gas, que se disponen según su densidad.

GAS PREDOMINANTE	ALTITUD
capa de hidrógeno atómico	a partir de 3.500 km
capa de helio (He)	entre 1000 y 3.500 km
capa de oxígeno atómico (O)	entre 200 y 1000 km
capa de nitrógeno molecular (N ₂)	entre 80 y 200 km

1.3. La atmósfera: estructura

La atmósfera no presenta la misma temperatura a lo largo de todo su espesor, por contra, su comportamiento térmico varía con la altura, a veces disminuye y otras veces aumenta. Atendiendo a estos aspectos la atmósfera se divide en cinco capas: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera y exosfera; las tres primeras corresponden a la homosfera y las dos últimas a la heterosfera.



Las 5 capas de la atmósfera y las gráficas de variación de temperatura y presión con la altitud

- Troposfera:** Al igual que el de la Tierra sólida, su radio varía con la latitud, siendo en el Ecuador de unos 16 km y en los polos de unos 8. En esta fina capa está la mayor parte de la masa de la atmósfera, un 80 %, y es donde se encuentra casi toda el agua atmosférica y las partículas (aerosoles) en suspensión. El aire se mueve por diferencias de P y T produciendo la mayoría de los fenómenos meteorológicos. En la troposfera la temperatura disminuye rápidamente con la altura desde la temperatura superficial de unos 15 °C hasta los -70 °C que se alcanzan en su límite superior, la **tropopausa**. El gradiente vertical de temperatura (GVT) es de unos 0,65 °C/100 m (baja 1º cada 150 m).

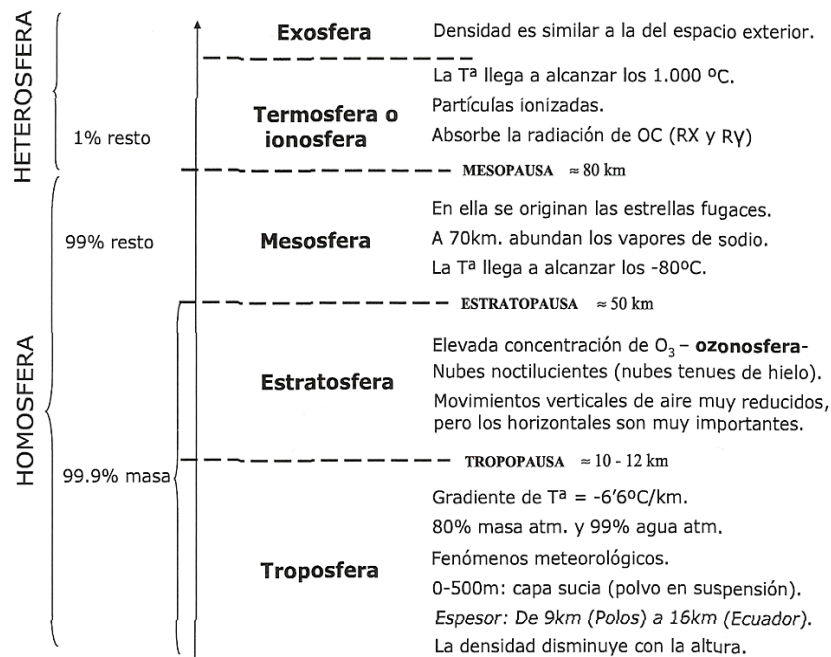
- Estratosfera:** Se extiende desde la tropopausa hasta unos 50 km de altura. En ella no existen movimientos verticales del aire, sino sólo horizontales (de hasta 200Km/h), debido a su disposición en estratos superpuestos. Además, no existen nubes, salvo en su parte inferior, en la que se forman unas de hielo cuya estructura es muy tenue (nubes noctilucientes). Entre los 20 y los 50 Km se genera y se concentra la mayoría del ozono atmosférico, constituyendo la **ozonosfera** o capa de ozono, cuya importancia veremos más adelante. La temperatura en esta capa aumenta con la altura hasta alcanzar valores máximos de 0°C en su límite superior o **estratopausa**. Este incremento de temperatura parece relacionarse con la absorción por el ozono (O₃) de la radiación ultravioleta del Sol.

- Mesosfera:** Es la última capa de la homosfera y se sitúa entre la estratopausa y los 80-90 km de altitud. En esta capa la temperatura vuelve a disminuir hasta alcanzar los -80 °C en su límite superior, la **mesopausa**. La baja densidad del aire en esta capa forma turbulencias que actúan a escalas espaciales y

temporales grandes. Las naves espaciales que vuelven a la Tierra empiezan a notar la estructura de los vientos de fondo, y no sólo el freno aerodinámico. También en esta capa se observan las estrellas fugaces que son meteoritos que se han desintegrado en la termosfera

- **Termosfera:** Marca el comienzo de la heterosfera, extendiéndose desde la mesopausa hasta la **termopausa**, a 500-600 Km de altitud. En su base se compone principalmente de N₂ (acompañado de oxígeno molecular y atómico) y por encima de los 200 km predomina el oxígeno atómico. En esta capa, el O y N₂ absorben los rayos gamma, rayos X y ultravioleta cortos procedentes del Sol, cediendo un electrón y dejando al O y N₂ ionizados (cargadas positivamente). Los electrones desprendidos originan una corriente eléctrica que se mueve por toda la capa ionizada, que por eso se llama también **ionosfera**. La temperatura de la termosfera aumenta con la altura debido a la absorción de onda corta, pudiendo alcanzar valores superiores a los 1.000 °C por encima de los 300 km, aunque con amplias variaciones diurnas y estacionales. La densidad del aire en esta zona es tan baja que se aproxima al vacío, por lo que las altas temperaturas implican poca cantidad de calor. En la ionosfera se producen las auroras boreales, fenómenos luminosos generados al ser canalizadas las partículas atómicas procedentes del Sol por las líneas de fuerza del campo magnético terrestre, e interaccionar con los átomos ionizados de la termosfera en las zonas polares. Además, las capas ionizadas poseen la facultad de reflejar las ondas de radio procedentes del Sol y de la Tierra.

- **Exosfera:** Su límite inferior se encuentra entre los 500 y 700 km. La atmósfera en esta zona es muy tenue (enrarecida) y está formada de átomos de O, H y He. Los átomos de H y He pueden escapar al espacio. El límite superior de la atmósfera no existe como tal, aunque podría corresponder a la zona de influencia y predominio del viento solar, constituido por partículas subatómicas (protones y electrones) de alta energía emitidos por el sol, que interaccionan con el campo magnético terrestre, y se extiende hasta los 10.000 - 13.000 Km donde la densidad atmosférica es similar a la del espacio exterior.



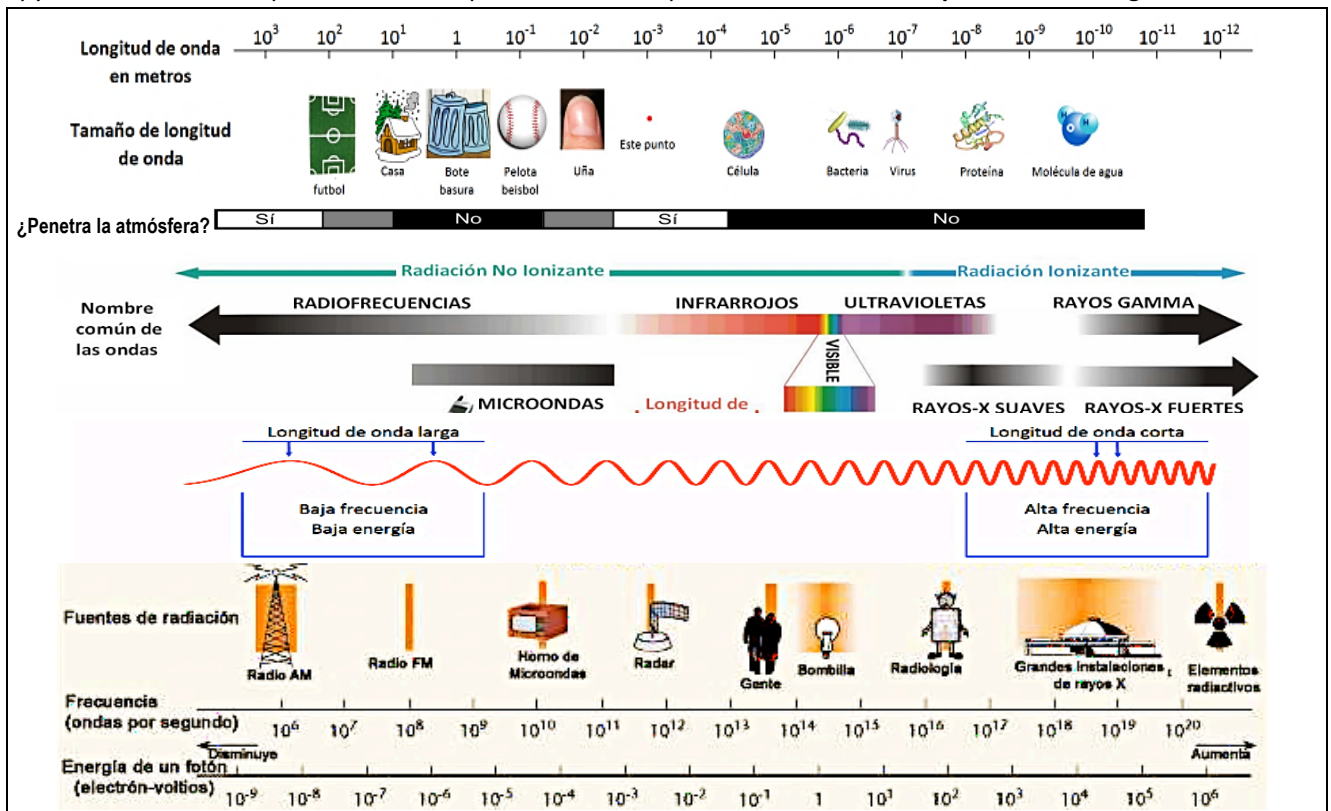
2. FUNCIÓN PROTECTORA Y REGULADORA DE LA ATMÓSFERA

2. **FUNCIÓN PROTECTORA Y REGULADORA DE LA ATMÓSFERA.** Efecto protector de la ionosfera y de la ozonosfera. El efecto invernadero.

Conceptos básicos: tipos de radiaciones solares, formación del ozono, albedo, gases efecto invernadero.

Características de la radiación solar

Cualquier objeto cuya temperatura esté por encima del cero absoluto (-273°C) emite radiación electromagnética con una determinada intensidad (frecuencia, γ) y longitud de onda, λ . Cuanto más alta es la temperatura del cuerpo, mayor es la intensidad de radiación emitida y menor su longitud de onda. El conjunto de γ y λ de las radiaciones que emiten los cuerpos a distintas temperaturas se denomina **espectro electromagnético**.

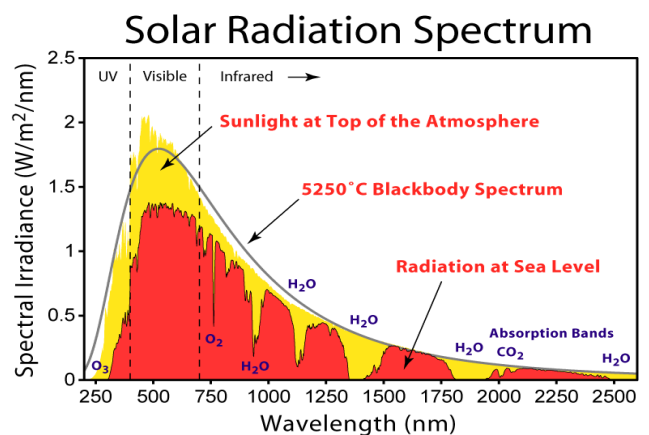


Espectro electromagnético

Las estrellas pueden emitir radiación en todas las frecuencias del espectro, aunque emitirán mayor proporción de radiación de alta γ y λ corta, si tienen más temperatura (estrellas azules) y menor, de baja γ y λ larga, si son estrellas más "frías" (estrellas rojas). El Sol ($T = 6.000^\circ\text{K}$ en su superficie) emite distintos **tipos de radiaciones solares** en una amplia banda de γ y λ , que constituye el **espectro solar**.

La gráfica del espectro de la radiación solar representa los resultados de las medidas hechas por satélites de la **irradiancia** (magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética; todas las longitudes de onda de las radiaciones llegadas desde el sol al límite superior de la atmósfera) y se mide en W/m^2 .

La **constante solar** es la cantidad de energía recibida en forma de radiación solar por unidad de tiempo y unidad de superficie, medida en la parte externa de la atmósfera en un plano perpendicular a los rayos. Los resultados de su medición por satélites indican un valor promedio de $1.353 \text{ W}/\text{m}^2$ según la NASA, lo que significa que a 1 m^2 situado en la parte externa de la atmósfera, perpendicular a la línea que une la Tierra al Sol, le llegan algo menos de $1,4 \cdot 10^3 \text{ J}$ cada segundo. Esta cifra varía durante el año en $\pm 3\%$ a causa de la elipticidad de la órbita terrestre. El 99% de esta energía corresponde a un intervalo espectral situado entre 0,15 y $4 \mu\text{m}$. (150 y 4.000 nm) y puede ionizar átomos, excitar electrones, disociar moléculas o hacerlas vibrar y abarca radiación ultravioleta, luz visible, radiación infrarroja y ondas de radio.



Comportamiento de la atmósfera terrestre ante la radiación solar

Para calcular la cantidad media de energía solar que llega a nuestro planeta por m^2 de superficie, hay que multiplicar la cte. solar por toda el área del círculo de la Tierra y dividirlo por toda la superficie de la Tierra lo que da un valor de **$342 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$** que es lo que se suele llamar **constante solar media**.

La gráfica de la irradiancia es doble: la superior (en amarillo) representa la radiación que llega a la parte alta de la atmósfera, la inferior (en rojo), la que llega a la superficie terrestre. Podemos observar que existe una **“ventana atmosférica”** principal entre los 300 y 900 nm aproximadamente; en la cual la mayor parte de la radiación que llega a la parte alta de la atmósfera, acaba llegando a la superficie de la Tierra, y que cubre el intervalo 380-780 nm de la luz visible al ojo humano, y algo más de UV e IR. Además, existen otras cuatro “ventanas” sobre los 1.100, 1.200, 1.600 y 2.200 nm que se aprovechan para poder hacer observaciones astronómicas en bandas de IR y de ondas de radio (radiotelescopios).

Eso quiere decir que la atmósfera terrestre es transparente a determinadas radiaciones que llegan desde el exterior, a la vez que impide el paso de otras radiaciones hasta la superficie. También se dice que es diatérmica, es decir, que **no es calentada directamente por la radiación solar**, sino de manera indirecta a través de la reflexión de dicha radiación en el suelo y en la superficie de mares y océanos, ya que, la Tierra ($T = 288^\circ\text{K} = 15^\circ\text{C}$) solo puede emitir energía radiante propia o por reflexión de la recibida del sol en el intervalo de I.R., que sólo puede hacer vibrar o rotar moléculas, es decir, calentar la atmósfera.

En condiciones óptimas, con un día claro y los rayos del sol cayendo casi perpendiculares, como mucho solo alcanzan la superficie terrestre las **tres cuartas partes** de la energía que llega al exterior de la atmósfera. Esta cantidad de radiación solar por unidad de superficie que llega a un punto concreto de la Tierra, varía con la latitud, altitud, declinación y estación del año.

Los gases de la atmósfera interactúan con la radiación absorbiéndola, reflejándola o transmitiéndola. Una vez que la radiación solar ha traspasado la atmósfera, interactúa con la superficie terrestre encontrándose con todo tipo de materiales diferentes, aguas, tierras desnudas, nieve, zonas de vegetación, etc., que interactúan con la radiación absorbiendo y reflejando diferentes λ en distintas proporciones. La intensidad y **distribución espectral de la radiación solar** que llega a la superficie terrestre se encuentra en el intervalo de $200 > \lambda < 2.500$ nm, distribuyéndose de la siguiente forma:

	R UV	VISIBLE	IR
<i>Longitud de onda</i>	$\lambda < 380 \text{ nm}$	$380 \text{ nm} < \lambda < 780 \text{ nm}$	$\lambda < 780 \text{ nm}$
<i>fracción</i>	7-8 %	47 %	45-46 %
<i>Energía (W/m²)</i>	95	640	618

Por lo que las radiaciones que afectan a la atmósfera, son:

- **Radiaciones de longitud de onda corta**, rayos X, rayos γ y rayos UVB de onda corta: Interaccionan con las moléculas produciendo un aumento de su temperatura e ionización de estas, por eso también se denominan radiaciones **ionizantes**. No llegan a la superficie.
- **Radiación UV** de onda larga (**UVA**): Tienen mayor poder de penetración en la atmósfera, algunas llegan a la superficie terrestre.
- **Radiaciones del espectro visible**: De longitud de onda intermedia, llegan hasta la superficie terrestre y son las responsables de procesos tan importantes como la fotosíntesis.
- **Radiación infrarroja**: Es absorbida por determinados gases produciendo un calentamiento que mantiene la temperatura media del planeta.

Radiación reflejada y absorbida por la Tierra

El **albedo** de la Tierra, es decir su brillo o capacidad de reflejar la energía, es de alrededor de 0.3. Esto significa que un **30%** de los $342 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ que se reciben (algo más de $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) son devueltos al espacio por la reflexión de la Tierra. Alrededor de la mitad de este albedo es causado por las nubes, aunque este valor es muy variable, dependiendo del lugar y de otros factores.

El **70%** de la energía que llega (unos $240 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) es absorbido. La **absorción** es mayor en las zonas ecuatoriales por incidir los rayos perpendicularmente. Estas diferencias originan fenómenos de convección y se

equilibran gracias a transportes de calor por las corrientes atmosféricas y a fenómenos de evaporación y condensación. En definitiva son responsables de la marcha del clima.

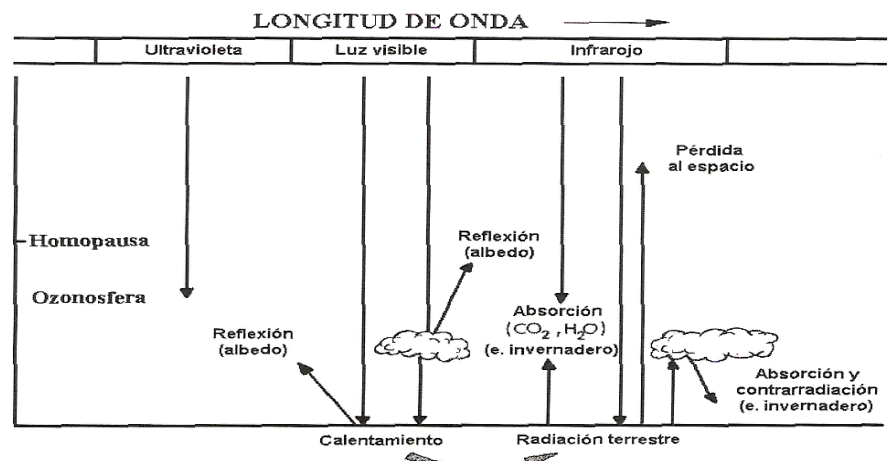
Los diferentes gases y otros componentes atmosféricos no absorben de igual forma los distintos tipos de radiaciones. Algunos, como el O₂ y el N₂ son transparentes a casi todas las radiaciones, mientras que otros, llamados **gases de efecto invernadero (G.E.I.)** como el vapor de agua, CO₂, metano y óxidos de nitrógeno, son transparentes a radiaciones de corta λ (ultravioletas y visibles), mientras que absorben las radiaciones largas (infrarrojas). Esta diferencia es decisiva en la producción del efecto invernadero.

Efecto invernadero natural

Basándose en que el tipo de radiación que emite un cuerpo depende de la temperatura a la que se encuentre, las observaciones desde satélites de la radiación infrarroja emitida por el planeta indican que la temperatura de la Tierra debería ser de unos -18°C. A esta temperatura se emiten unos 240 W·m⁻², que es justo la cantidad que equilibra la radiación solar absorbida. La realidad es que la temperatura media de la superficie de la Tierra es de 15°C, a la que corresponde una emisión de 390 W·m⁻². Los 150 W·m⁻² de diferencia entre este valor y los 240 W·m⁻² realmente emitidos, son atrapados por los gases con efecto invernadero (G.E.I.) y por las nubes. Esta energía es la responsable de los 33°C de diferencia.

La energía remitida hacia el exterior, desde la Tierra, al proceder de un cuerpo mucho más frío, está en forma de bajas γ y largas λ y es absorbida en parte por los **G.E.I.** Bajo un cielo claro, alrededor del 60 al 70% del efecto invernadero es producido por el vapor de agua. Después de él son importantes, por este orden, el dióxido de carbono, el metano, ozono y óxidos de nitrógeno. No se citan los gases originados por la actividad humana que no afectan, lógicamente, al efecto invernadero natural.

Por una parte, el efecto invernadero es mayor con nubes que con cielo despejado, pero por otra parte, las nubes (gotitas de agua suspendidas en la atmósfera), reflejan la luz que viene del sol. De media, para el conjunto de la Tierra, se calcula que su acción de calentamiento por efecto del aumento invernadero supone unos 30 W·m⁻², mientras que su acción de enfriamiento por el reflejo de radiación es del orden de 50 W·m⁻², lo que supone un efecto neto de enfriamiento de unos 20 W·m⁻².



Balance energético de la radiación solar

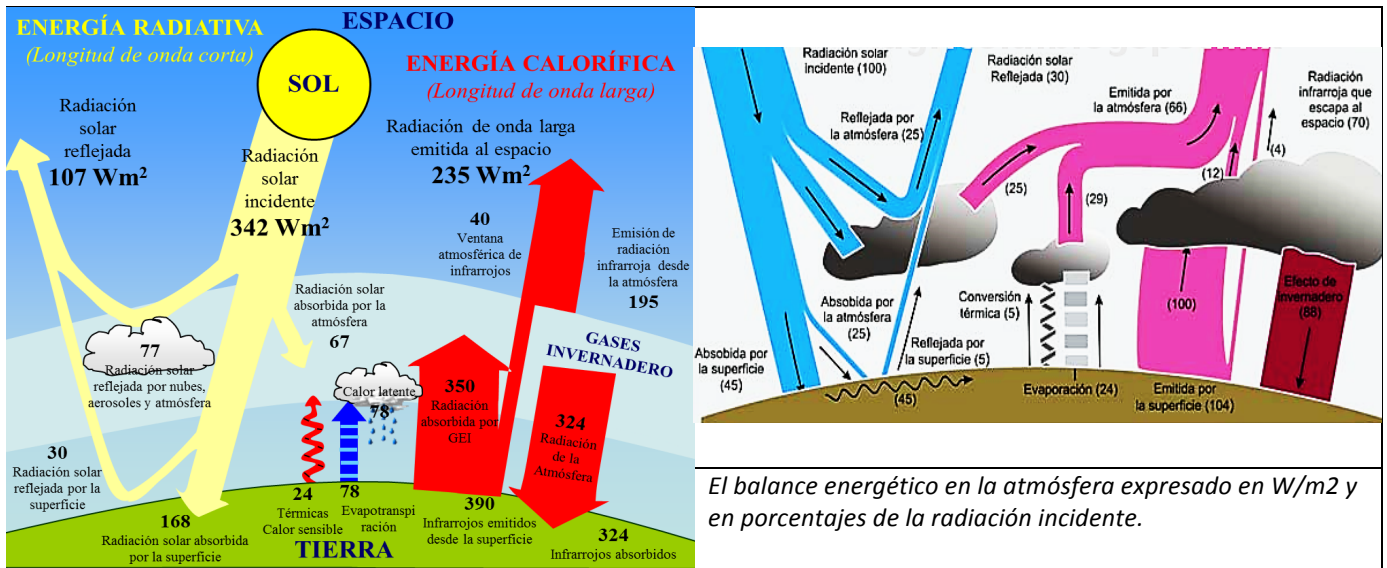
El balance entre la energía recibida y la irradiada al exterior ha permanecido equilibrado desde hace al menos 1.000 m.a. y la temperatura en la superficie terrestre se ha mantenido en torno a 15 °C, con algunas desviaciones transitorias de +/- 10 ° C que se han traducido en cambios climáticos (de efecto invernadero o de periodos glaciales).

1. **Radiación solar entrante:** 100 = 45 (absorbida en superficie) + 25 (absorbida por el aire) + (25+5) (albedo reflejada desde las nubes y desde el suelo).

La radiación solar que entra en la atmósfera puede ser **reflejada, absorbida o dispersada** por los componentes de la atmósfera, dependiendo de la λ , de la energía transmitida y del tamaño y naturaleza de la sustancia que modifica la radiación. Considerando los 342 W/m² de la constante solar media como el 100% de la radiación solar entrante, aproximadamente solo un **50%** llega a la superficie terrestre.

- **Reflexión.** Alrededor del **30%** de la energía solar entrante es reflejada al espacio, lo que se denomina **albedo**. Un **20%** es reflejado por las nubes, un **5%** por el aire y otro **5%** por la superficie de la Tierra. El albedo terrestre depende de la cubierta vegetal, tipo de rocas (color), acumulación de nieve, humedad del suelo (cambia

el color),... El albedo de las nubes depende de su espesor (aumenta con él) y del tipo de nube. Esta energía se pierde y no interviene en el calentamiento de la atmósfera.



- **Absorción.** Entre el 20-25% de la energía incidente es **absorbida por la atmósfera** (partículas de polvo, vapor de agua, CO₂, y nubes). Cuando un gas absorbe energía, esta se transforma en movimiento molecular que produce aumento de temperatura por lo que la emiten en forma de radiación térmica (de onda larga). En la atmósfera ningún gas absorbe la radiación en λ entre 0.3 y 0.7 μm , por lo que se tiene un vacío en la región de luz visible. Esto explica por qué se dice que la radiación visible que entra en la atmósfera, es transparente.

- **Dispersión.** Aunque la radiación solar viaja en línea recta, los gases y partículas pueden desviar esa energía en otras direcciones por dispersión o **radiación difusa**, lo que explica que un área en sombra esté iluminada. El 25% de energía absorbida, se acaba dispersando en la atmósfera, degradándose a radiación térmica, que acaba siendo emitida al exterior.

2. Radiación saliente: $100 = 30$ (albedo, pérdida de visible) + 70 (pérdida de I.R. de la atmósfera y del suelo = 25 radiación difusa + 29 ($24 + 5$) calor latente y sensible + ($12 + 4$) ventana de I.R.).

La superficie terrestre emite el 104% de la energía que entra en la atmósfera. Esto es posible porque:

- El 45% de la radiación entrante es **absorbida por la superficie terrestre**: los océanos absorben el 23%, los continentes el 21'8% y sólo el 0,2% es utilizado por los vegetales para realizar la fotosíntesis. Esa energía absorbida, se libera de nuevo por emisión de radiaciones térmicas de onda larga en procesos de convección que implican un transporte de masa y de energía:

- Un 24% se pierde como **calor latente** (energía usada en los cambios de estado intercambiando calor sin variar la temperatura) a través del vapor de agua que se evapora en continentes y océanos. Es la energía que mueve el ciclo del agua. Al condensarse el vapor de agua en la atmósfera se libera el calor latente, aumentando la temperatura del aire.

- Un 5% (**calor sensible o conversión térmica**) asciende por movimientos turbulentos y se pierde por conducción, transfiriéndose directamente desde la superficie del mar o del suelo al aire en contacto con él aumentando la temperatura de los cuerpos, o viceversa si el aire está más caliente que la superficie.

- Un 12% en forma de **radiación de onda larga** se escapa al exterior indirectamente, después de haber sido retenidos un tiempo en las nubes y otros componentes de G.E.I. Ese 12% + otro 4%, de I.R. emitido directamente desde el suelo, forman un 16% de pérdida que se escapa por una ventana de I.R.

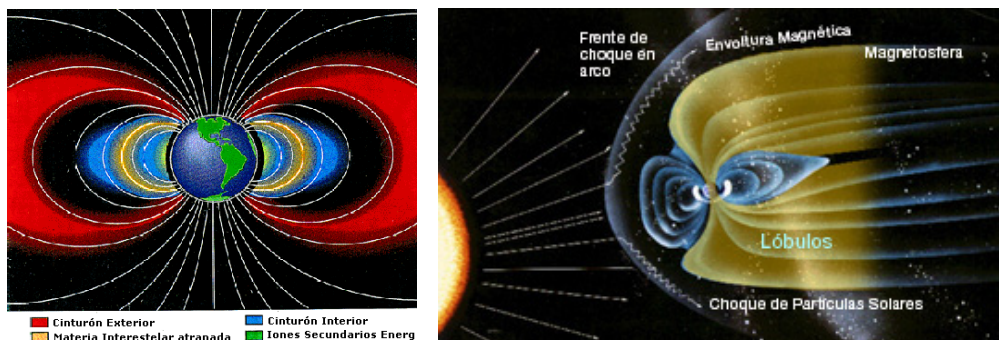
- Un 88% en forma de **contrarradiación atmosférica**, vuelve al suelo siendo emitida por las capas inferiores de la atmósfera (vapor de agua y CO₂ fundamentalmente) en forma de onda larga (calor), siendo absorbida por el suelo e irradiada de nuevo hacia el aire.

Balance global: Entradas – Salidas = 100 (Energía solar) – 30 (Albedo) – 70 (Radiación al espacio) = 0

2.1. Efecto protector de la ionosfera y de la ozonosfera

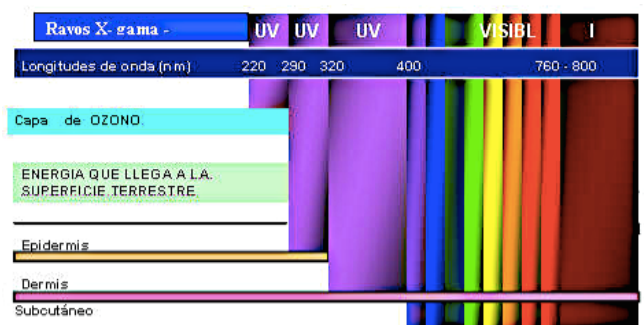
La atmósfera desvía el viento solar y absorbe parte de la radiación que llega del Sol antes de llegar a la superficie. Y lo hace de forma selectiva. Estos procesos son muy importantes para los seres vivos ya que las radiaciones más energéticas, producen efectos nocivos (mutaciones, cánceres de piel, etc.). Las capas altas de la atmósfera funcionan como un filtro que protege a los organismos de radiaciones perjudiciales.

1. La Tierra, debido al estado, composición y comportamiento de su núcleo, actúa como un enorme imán con dos polos magnéticos que se sitúan próximos a los de rotación. El campo magnético terrestre forma una especie de "donuts" de líneas de flujo que salen cerca del polo sur y entran cerca del polo norte y se conoce como **magnetosfera**. Esta se deforma cuando sobre ella incide el viento solar, comprimiéndose por el lado que se enfrenta al Sol (zona de día), donde llega hasta 65.000 km, una distancia de 10 radios terrestres, y alargándose hasta más de 100 radios terrestres (zona de noche).

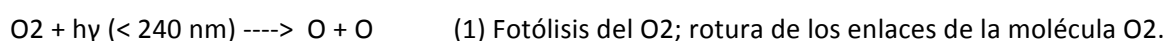


El viento solar es un flujo de protones y electrones de alta energía procedentes de la superficie del Sol. Al llegar a la magnetosfera, se desvía y dispersa por el espacio interplanetario. Dentro de la magnetosfera se localizan dos anchos cinturones, los Anillos de Van Allen, que envuelven casi toda la Tierra y actúan como trampas magnéticas para las partículas que no son desviadas y consiguen entrar. El cinturón exterior está compuesto mayormente por electrones, y el interior, por protones. En momentos de fuerte actividad solar (emisión de fulguraciones), las partículas atrapadas en los anillos, escapan por los extremos irrumpiendo en la atmósfera de las altas latitudes, ionizando sus partículas y dando lugar a las auroras polares.

2. La **ionosfera** absorbe las radiaciones electromagnéticas de onda corta ($\lambda < 200\text{nm}$) o sea, rayos X, rayos γ y parte de U.V. Esta radiación se llama ionizante porque su energía es absorbida por el H y el N de esa capa, arrancando electrones e ionizando los átomos, lo que provoca el incremento en la temperatura de esta capa (termosfera). Por ello, es consumida, desaparece y no sigue viajando hacia abajo. Las radiaciones ionizantes aumentan la probabilidad de contraer cáncer, en función de la dosis recibida. La exposición a altas dosis, puede causar quemaduras de piel, caída de cabello, náuseas o trastornos congénitos.



3. La **ozonosfera** está situada entre los 22 y los 40-50 km de altura, absorbe la radiación U.V. de onda más corta que son las más letales para los procesos vitales; esto provoca un aumento de temperatura en la zona; siendo el ozono responsable de dicha absorción. El ozono continuamente se forma y se destruye siguiendo las ecuaciones:



$h\nu$ = absorción de la energía de un fotón de radiación U.V. de λ menor de 240 nm

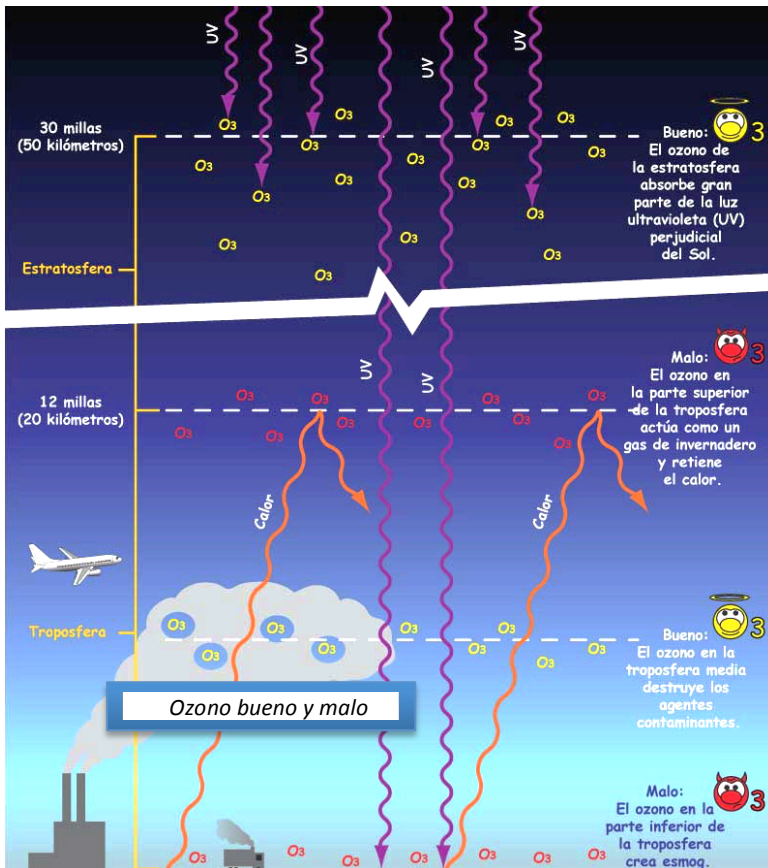


$O_3 + h\nu (< 320 \text{ nm}) \rightarrow O + O_2$ (3) Destrucción del ozono por fotólisis.

$O + O_3 \rightarrow O_2 + O_2$ (4) Reacción con el oxígeno atómico.

La reacción (4) es bastante lenta, pero diversas sustancias como NO, NO₂, H, OH, Cl, ClO y ClO₂ actúan como catalizadores acelerando la destrucción del ozono.

El proceso de formación es más intenso en latitudes bajas, donde la insolación es mayor. Pero es en las latitudes altas es donde se acumula debido a la circulación atmosférica que transporta el ozono desde el Ecuador hasta los Polos y en estos la fotólisis es menor al ser menor la radiación solar recibida.



La ozonósfera constituye un escudo protector de importancia vital ya que evita entre otras cosas:

- Cáncer de piel, debido a alteraciones del material nuclear de las células que reciben la radiación solar.
- Cataratas, debido a la coagulación de las proteínas del humor vítreo por parte de las mencionadas radiaciones.
- Atenuación del sistema inmunológico.
- Cambios en el rendimiento fotosintético de plantas.
- Efectos nocivos sobre el zooplancton y fitoplancton en aguas litorales de poca profundidad.

Debido al intercambio de elementos entre la ozonósfera y la troposfera puede encontrarse también ozono troposférico con efectos nocivos, pero de menor intensidad, sobre los seres vivos.

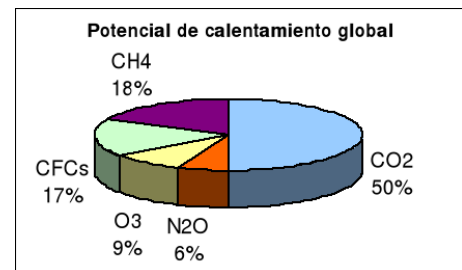
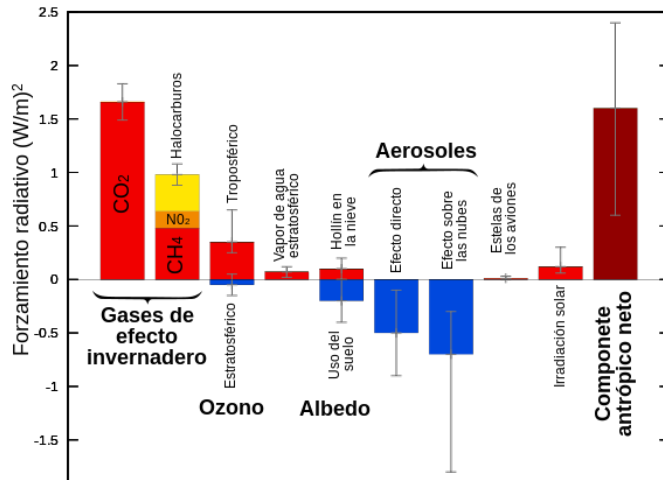
2.2. Función reguladora de la atmósfera: el efecto invernadero

La atmósfera por el día refleja (albedo) y absorbe parte de la radiación solar, evitando que se sobrecaliente 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). Finalmente, la circulación del aire tiende a compensar los desequilibrios de temperatura originados por la diferente insolación en distintas zonas del planeta. Concretando:

- Un 30% de la radiación visible incidente que llega a la troposfera, es reflejada por las nubes, polvo, hielo, nieve, rocas, suelo, vegetación, constituyendo el albedo. El incremento de albedo produce enfriamiento. 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.

- Parte de la luz visible no reflejada llega al suelo y causa su calentamiento. Como consecuencia, 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 CO₂ y el vapor de agua entre otros G.E.I., calentando la atmósfera. Éste fenómeno, llamado **efecto invernadero**, es aumentado por la contrarradiación ya que parte de esta radiación absorbida es devuelta a la superficie.

- La **circulación general del aire** 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 que transportan calor de las zonas tropicales a los polos y frío de zonas polares al ecuador. $\frac{3}{4}$ partes de la superficie de la Tierra están cubierta de agua, que absorbe muy bien la radiación solar y mediante las corrientes marinas cálidas (desde el ecuador hacia las altas latitudes) y frías (de los polos a latitudes más bajas) regulan el clima de modo mucho más eficaz por tener mayor calor específico que la atmósfera. Tanto el transporte oceánico como atmosférico están regulados por un bucle de realimentación negativa.



El **efecto invernadero** se origina en los primeros 12 km de la atmósfera por la presencia de ciertos gases (G.E.I.): principalmente, vapor de agua, CO₂, CH₄ y N₂O. Estos son transparentes a la radiación visible del Sol, que los atraviesa, pero

no a la radiación infrarroja (calor) emitida por la superficie terrestre, previamente calentada por el Sol. Los citados gases, al impedir la salida de gran parte de las radiaciones infrarrojas, las reemiten o devuelven a la Tierra, incrementando la temperatura de la atmósfera. Podríamos afirmar que son como una "manta" que mantiene la temperatura terrestre en torno a unos **15°C** de media.

La cantidad de calor atrapado dependerá de la concentración de G.E.I. en la atmósfera, que no es constante, sino que se está asociada a múltiples ciclos naturales, como el del agua y el del carbono, que resultan de las interacciones de la atmósfera con otros subsistemas terrestres.

La Luna sin atmósfera y casi a la misma distancia del Sol que la Tierra, tiene una temperatura media 35°C menor que la Tierra, porque no tiene efecto invernadero natural.

Las nubes absorben radiación de onda larga y la reemiten hacia la superficie de noche, pero en noches con cielos despejados, la radiación escapa al espacio exterior, haciendo disminuir más la temperatura nocturna, por lo que las **noches con cielos despejados son más frías** que con cielo nublado. Por el contrario durante los **días nublados**, las máximas temperaturas son menores que con cielo despejado ya que las nubes impiden el paso de la radiación solar directa. Así los desiertos son muy cálidos en el día y muy fríos en la noche por causa de este efecto.

El efecto invernadero tiene una gran importancia biológica. Si no hubiese atmósfera, y por tanto no hubiese gases con capacidad de absorción de radiaciones de onda larga rodeando la superficie sólida y líquida del planeta, la temperatura media en la superficie –como ya se ha dicho– sería de unos -18°C en lugar de los 15°C actuales lo que la harían inhabitable.

No debemos confundir este beneficioso efecto con el denominado **incremento de efecto invernadero**, que consiste en un aumento antrópico excesivo de los gases de efecto invernadero, que constituye un grave problema ambiental y provoca un **excesivo calentamiento** de la atmósfera.

3. RECURSOS ENERGÉTICOS RELACIONADOS CON LA ATMÓSFERA. Energía solar, energía eólica, ventajas e inconvenientes de cada una de ellas

Conceptos básicos: Energía solar fotovoltaica, energía térmica solar, parques eólicos.

3.1. Energía solar: ventajas e inconvenientes

Las llamadas **energías renovables**, en sentido estricto, son generadas por el Sol. Hemos visto que de la energía solar incidente, solo la mitad alcanza la superficie terrestre, siendo por tanto susceptible de aprovecharse. Pero además, su aprovechamiento presenta ciertas dificultades que la diferencian y distinguen de otras fuentes energéticas:

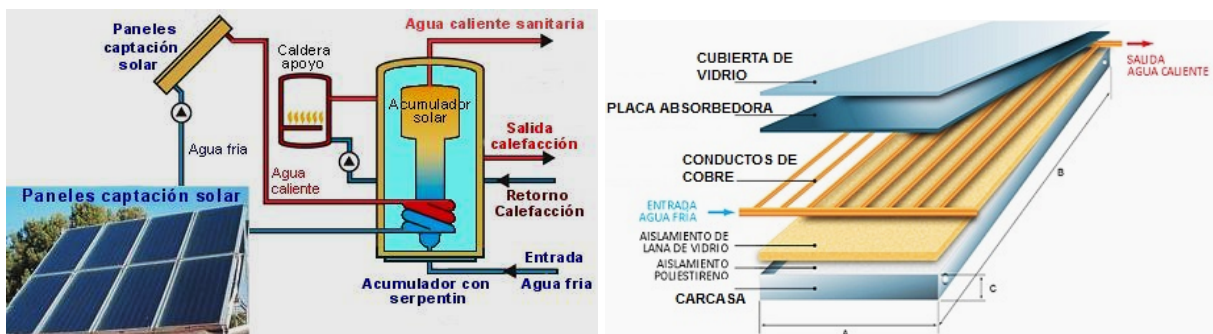
- **Energía muy dispersa y variable.** Varía en función de la latitud, estacionalidad, etc.
- **Energía intermitente.** Varía por la sucesión día-noche, nubosidad, etc. lo que junto con su dispersión, plantea serios problemas para optimizar los sistemas de aprovechamiento. En la actualidad ningún sistema es suficientemente eficaz para el almacenamiento de la energía solar producida.
- **Gran superficie de captación.** La utilización a gran escala de la energía solar obliga a sistemas de captación de gran superficie, con amplia ocupación de terrenos y un impacto sobre el paisaje importante.

Existen dos tipos de sistemas de aprovechamiento de energía solar: térmicos y fotovoltaicos.

1. Energía solar térmica

Usa la radiación del Sol para calentar un fluido que, en función de su temperatura, se utiliza para producir agua caliente, vapor o energía eléctrica. Los sistemas para aprovechar la energía solar por la vía térmica se pueden dividir en tres grupos:

a) Sistemas a **baja y media temperatura**. El calentamiento del agua se produce por debajo de su punto de ebullición, es decir, 100°C. La mayor parte de los equipos basados en esta tecnología se aplican en la producción de agua caliente sanitaria y en climatización.



Los sistemas de media temperatura proporcionan agua a temperaturas entre 100 y 200°C para calefacción y procesos industriales, etc.

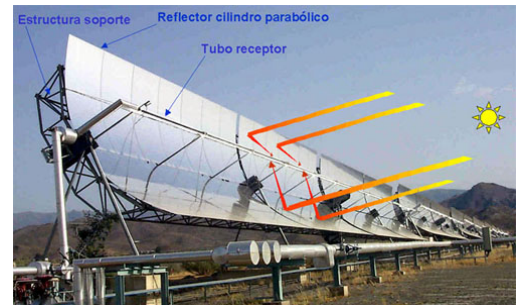
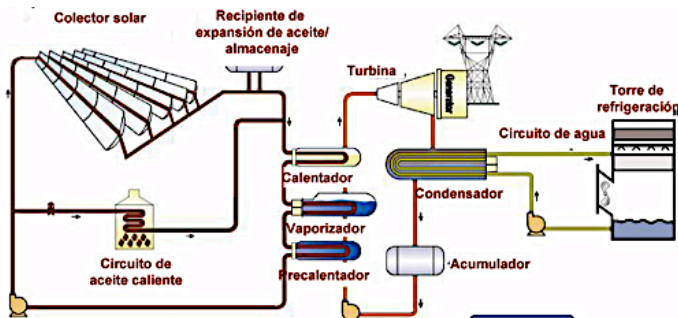
b) Sistemas a **alta temperatura**. Consiguen calentar agua a 250-300°C y se aplica para producir vapor o para generar energía eléctrica en una **central termosolar**, instalación que permite producir electricidad a partir de la energía solar utilizando un ciclo térmico parecido al de las centrales térmicas convencionales. Pueden ser:

- **Centrales de torre central.** Consta de un campo de espejos direccionales de grandes dimensiones que concentran la radiación solar en una caldera situada en una torre de gran altura. El calor es absorbido por un fluido térmico que es conducido hacia un generador de vapor, que transfiere su calor a un segundo fluido (generalmente agua) para convertirlo en vapor. Este se lleva a una turbina para transformar su energía mecánica en electricidad en un alternador.

La planta Gemasolar de Fuentes de Andalucía (Sevilla) genera una potencia eléctrica máxima de 19,9 MW, que se vierte a la red tanto de día como de noche, gracias a que permite el almacenamiento térmico en sales fundidas de alta temperatura y eficiencia, convirtiéndose así en la primera planta termosolar en el mundo con producción ininterrumpida de 24 horas. Puede suministrar energía limpia a 27.000 hogares y reducir en más de 30.000 t/año las emisiones de CO₂.



- **Centrales de colectores distribuidos.** Los llamados colectores de concentración, convergiendo la radiación solar que reciben, sobre conducciones de agua, consiguen obtener con buenos rendimientos, temperaturas de hasta 300°C, suficientes para producir vapor a alta temperatura, que se usa para generar electricidad o también para otros procesos industriales.



La producción en una central solar depende de las horas de insolación. Por eso, para aumentar su producción suelen disponer de sistemas de aislamiento térmico intercalados en el circuito de calentamiento.

El desarrollo de centrales termosolares hace frente a varias limitaciones:

- Económicas: sus costes de explotación son aún muy altos, por eso no son competitivas ante otro tipo de centrales.
- Tecnológicas: aún se deben realizar muchas mejoras para aumentar la eficiencia de los sistemas de concentración y almacenaje.
- Estacionalidad: hay que hacer frente a la variabilidad de la radiación solar y las incertidumbres meteorológicas.

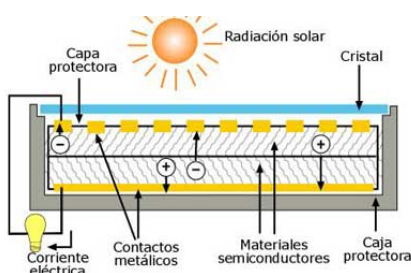
2. Energía solar fotovoltaica

En la instalación fotovoltaica la obtención de energía eléctrica se produce a través de paneles fotovoltaicos que captan la energía luminosa del Sol para transformarla en energía eléctrica por medio de células fotovoltaicas fabricadas con materiales semiconductores.

El efecto fotovoltaico es un fenómeno físico que capta la energía luminosa (fotones) que incide sobre una estructura heterogénea (**célula fotovoltaica**) formada por láminas de semiconductores, como el silicio, que desprenden electrones en esas condiciones, de las capas más externas de átomos de ese material, creando una corriente eléctrica interior de una cierta tensión. Al ser pequeñas las células, se han de colocar en serie para producir mayor cantidad de energía.

Se utiliza en relojes, calculadoras, dispositivos de señalización... y en los paneles solares de satélites, estación espacial, y en la producción de electricidad en centrales fotovoltaicas.

Un **parque fotovoltaico** está formado por un conjunto de células que captan la energía solar, transformándola en corriente eléctrica continua. Estas se conectan en serie e integran en módulos que, al unirse, forman placas fotovoltaicas. La corriente generada se envía a un armario de corriente continua donde se producirá la transformación con la ayuda de un inversor de corriente y, finalmente se lleva a un centro de transformación donde se adapta la corriente a las condiciones de intensidad y tensión de las líneas de transporte de la red eléctrica.



Planta de energía solar fotovoltaica de 500 kw en Córdoba

Limitaciones de los parques fotovoltaicos:

Las tecnologías disponibles se han de optimizar para que la eficiencia de las células fotovoltaicas pueda mejorar hasta llegar a cifras del orden del 18-20%.

España es un país pionero en desarrollo de esta tecnología y se facilitan ayudas económicas a este tipo de producción eléctrica.

Las **aplicaciones** más frecuentes y con mayor futuro de la energía solar son:

a) Usos domésticos. Estos sistemas se utilizan para la producción de agua caliente sanitaria, calefacción, climatización de piscinas, invernaderos, secaderos...

b) Aplicaciones remotas. Casos en que es necesario el uso de electricidad en lugares no habitados donde el consumo es pequeño. Por ejemplo, los repetidores de radio y televisión, radiofaros, balizas, señales en carreteras, cargadores de batería para los teléfonos móviles...

c) Usos rurales. Tiene que competir con el mercado del grupo electrógeno convencional, barato pero sometido a la servidumbre del transporte de combustible, que en muchos lugares del área rural puede ser caro, y cuya menor fiabilidad, ruidos..., hacen poco atractivo su uso. También puede utilizarse en aplicaciones de riego y en muchas tareas mecánicas (molienda, forja...).

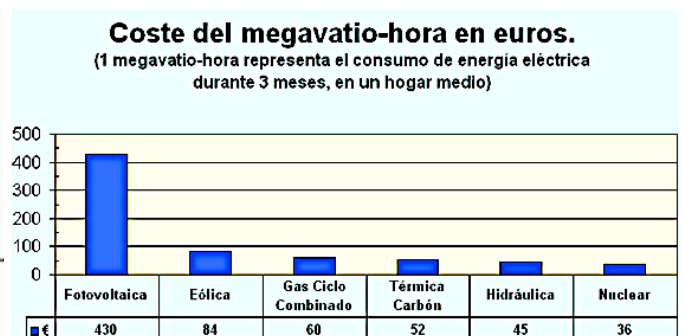
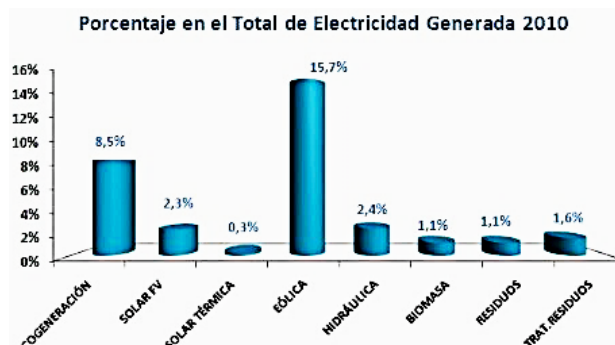
d) El uso de grandes centrales fotovoltaicas estará asociado a la evolución de la tecnología, coste de los materiales, a las condiciones climáticas y a la competitividad relativa de cada solución.

e) Aplicaciones integradas. Los sistemas fotovoltaicos se emplean en teléfonos de emergencia en autopistas, calculadoras, dispositivos de señalización terrestres y marítimos, satélites espaciales, etc.

Situación de la energía solar en Andalucía (información actualizada a 30 de junio de 2014)

	Termosolar (MW)	E.S. Térmica (m ²)	Fotovoltaica (MWp)
ALMERIA		74.484	84,67
CADIZ	100,0	145.705	73,36
CORDOBA	299,8	42.343	194,93
GRANADA	149,7	42.062	96,46
HUELVA		71.111	73,32
JAEN		22.289	91,79
MALAGA		187.895	52,75
SEVILLA	447,9	322.231	215,58
ANDALUCIA	997,4	908.118	882,86

	VENTAJAS	INCONVENIENTES
ENERGÍA SOLAR	<ul style="list-style-type: none"> • Es renovable (inagotable) y limpia (no genera residuos contaminantes). • Reduce el consumo de energías no renovables. • Gratuidad del combustible. • Independencia del suministro. • Energía autóctona, inagotable y limpia. • Bajo impacto ecológico. • En España contribuye a la independencia energética del exterior. 	<ul style="list-style-type: none"> • La producción de 1MW de fotovoltaica requiere 100.000 m² de superficie de paneles, lo que genera una gran utilización de suelo y gran impacto visual. • Ensombrecimiento de la superficie de terreno (microclima) y aumento de la erosión. • Intermitencia y baja producción energética • Elevado coste de producción y baja eficiencia. • Carácter aleatorio de la disponibilidad, dependiendo del grado de insolación y/o nubosidad. • Dificultad de almacenamiento de la energía excedentaria



3.2. Energía eólica: ventajas e inconvenientes

El aprovechamiento del viento para generar energía es casi tan antiguo como la civilización. La primera y la más sencilla aplicación fue la de las velas para la navegación. En el S.XX el hombre comienza a utilizar la energía eólica para producir electricidad para autoabastecimiento de pequeñas instalaciones. En la década de los noventa comienza el desarrollo de esta energía cuando se toma conciencia de la necesidad de modificar el modelo energético basado en los combustibles fósiles y la energía nuclear, por los problemas que estos causan al medio ambiente.

En los últimos años, gracias a un desarrollo tecnológico y a un incremento de su competitividad en términos económicos, la energía eólica ha pasado de ser de una utopía a una realidad que se consolida como alternativa futura y, de momento complementaria, a las fuentes contaminantes.

Aerogenerador es el nombre que recibe la máquina empleada para convertir la fuerza del viento en electricidad. El aerogenerador de eje horizontal, empleado mayoritariamente en el parque eólico español, consta de las siguientes partes básicas:

- El rotor, que incluye el eje y las palas, generalmente tres.
- La góndola, donde se sitúan el generador eléctrico, los multiplicadores y sistemas hidráulicos de control, orientación y freno. En la parte exterior lleva un anemómetro y una veleta conectados a sistema informático que permite orientar la góndola según la dirección del viento dominante.
- La torre, es tubular, y puede tener hasta 50m de altura, ya que la velocidad del viento aumenta con la altura.

Los **parques eólicos** son agrupaciones de aerogeneradores que transforman la energía eólica en eléctrica. Se pueden situar en tierra o en el mar, siendo los primeros más habituales, aunque los parques *offshore* han experimentado un crecimiento importante en Europa en los últimos años.



El número de aerogeneradores que componen un parque es variable, dependiendo de la superficie disponible y de las características del viento en el emplazamiento. Antes de montar un parque eólico se estudia el viento en el emplazamiento elegido durante un tiempo que suele ser superior a un año. Para ello se instalan veletas y anemómetros. Con los datos recogidos se traza una rosa de los vientos que indica las direcciones predominantes del viento y su velocidad.



Los parques eólicos proporcionan diferente cantidad de energía dependiendo de las diferencias sobre diseño, situación de las turbinas, y por el hecho de que los antiguos diseños de turbinas eran menos eficientes y capaces de adaptarse a los cambios de dirección y velocidad del viento.

Los principales problemas para su explotación son su **aleatoriedad** (el viento puede cambiar de dirección y de intensidad en unas horas) y su **dispersión**, además de que existe el problema del **almacenamiento** de la corriente eléctrica producida, que también encarece y dificulta su utilización.

	VENTAJAS	INCONVENIENTES
ENERGÍA EÓLICA	<ul style="list-style-type: none"> • Gratuidad del combustible. • Energía limpia e inagotable. • Sencillez de los principios aplicados. • Bajo coste de instalación. • Fuente de energía para núcleos rurales aislados de la red general. • Bajo coste de mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Interferencias electromagnéticas. • Fuerte impacto visual. • Contaminación acústica (ruido). • Aumenta la erosión del suelo. • Muerte de aves por colisión. • Intermitencia en la producción. • Difícil almacenamiento. • El rendimiento es bajo.

4. LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: Los contaminantes atmosféricos más frecuentes. Efectos de los contaminantes atmosféricos: Alteración de la capa de ozono, lluvia ácida y aumento del efecto invernadero. El cambio climático global. Medidas de prevención para reducir la contaminación atmosférica.

Conceptos básicos: Contaminante primario, contaminante secundario, islas de calor, smog, inversión térmica.

Un individuo medio adulto intercambia unos 15kg de aire al día, con este dato podemos hacernos una idea de la importancia de la atmósfera en nuestra vida. La atmósfera es finita y su capacidad de autodepuración es limitada. Por tanto, el aire es un recurso indispensable para la vida y su contaminación puede tener serias repercusiones sobre ella.

Según la ley de Protección del Ambiente Atmosférico, se entiende por contaminación atmosférica "la presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza".

Esta alteración se puede generar por la presencia de sustancias gaseosas o sólidas, que provienen de procesos naturales o de las actividades humanas, y que dan lugar a efectos tóxicos, irritantes o dañinos para los seres vivos. Cuando el aire natural se altera hasta alcanzar unos niveles perjudiciales para los seres vivos, se dice que el aire está contaminado y las sustancias o formas de energía que lo alteran, son los contaminantes.

4.1. Los contaminantes atmosféricos más frecuentes

Cuando alguna sustancia, compuesto o forma de energía se encuentra en el aire en concentraciones o niveles tales que puede causar daños o molestias a personas, animales, vegetación o materiales, se denomina **contaminante atmosférico**.

Los contaminantes los podemos clasificar atendiendo a su origen y su naturaleza.

1. Según su origen: Distinguimos dos tipos, de origen natural y antropogénicos.

a) Contaminantes de origen natural. Son debidos únicamente a fuentes naturales. Las emisiones naturales de contaminantes por focos naturales provienen de volcanes, incendios forestales y descomposición de la materia orgánica en el suelo, océanos,...

b) Contaminantes antropogénicos. Derivados de las actividades humanas. Los principales focos antropogénicos de emisiones los clasificamos, según la posición del foco de emisión (**fijo, móvil o mixto**).

2. Según su naturaleza. Podemos distinguir dos tipos de contaminantes:

l) Contaminantes físicos. Destacan las radiaciones ionizantes, las no ionizantes, y el ruido.

a) Radiaciones ionizantes. Son radiaciones electromagnéticas (X y γ) o corpusculares (α , β , p+ y e) capaces de ionizar átomos o moléculas de la materia sobre la que inciden. Su origen natural se encuentra

en procesos radiactivos y en radiaciones cósmicas, mientras que su origen antrópico se encuentra en fugas de centrales nucleares, rayos X, centros de investigación donde se emplean isótopos radiactivos, etc.

b) Radiaciones no ionizantes (UV, infrarrojas, microondas y radiofrecuencias). No modifican la estructura de la materia al no provocar ionización de átomos. Son las radiaciones U.V. producidas por el Sol, tubos fluorescentes, lámparas germicidas; radiaciones infrarrojas, generadas por cuerpos incandescentes, ondas de radio, TV; y microondas emitidas por radares, hornos, comunicaciones, etc.

c) Ruido. Es el sonido excesivo o súbito que puede producir efectos fisiológicos y/o psicológicos indeseados sobre las personas. Con el desarrollo de la civilización urbana e industrial, ha adquirido una gran importancia como contaminante atmosférico. Sus efectos son subjetivos y están condicionados por la frecuencia e intensidad del sonido, el tiempo de exposición al mismo, y la edad del receptor. Destacan la pérdida de audición, alteraciones nerviosas como neurosis, irritabilidad, estrés, etc.

II) Contaminantes químicos. Distinguiremos dos tipos:

a) Contaminantes primarios. Proceden directamente de las fuentes de emisión. Los más representativos son los óxidos de azufre, óxidos de carbono, amoníaco, sulfuro de hidrógeno, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, CFCs, partículas en suspensión,...

b) Contaminantes secundarios. Se forman por interacción química entre contaminantes primarios y compuestos habituales de la atmósfera, como el vapor de agua, la radiación solar, etc. Se denomina **precursor** al contaminante emitido directamente sobre la atmósfera, que tras diversas reacciones da lugar a contaminantes secundarios, como el ácido sulfúrico, ácido nítrico, ozono, peroxiacetilnitrato (PAN).

La **vida media** estimada de los contaminantes puede darnos una idea de su carácter reactivo o inerte. Cuanto mayor sea su vida media, mayor será el tiempo de permanencia en la atmósfera y más lejos podrán ser transportados. Así, la vida media SO_2 es del orden de días, lo cual implica que dispone de este tiempo para transportarse a una distancia, que depende de las condiciones meteorológicas, antes de acabar combinándose con la humedad de la atmósfera y producir el fenómeno de lluvia ácida.

Principales contaminantes químicos y efectos producidos:

- **Compuestos de azufre**
 - **Sobre la especie humana:** causan enfermedades del aparato respiratorio.
 - **Sobre la vegetación y suelos:** la deposición de compuestos ácidos causa un descenso del pH del suelo y, en consecuencia, una alteración del hábitat de las biocenosis del mismo.
 - **Sobre las edificaciones:** en elevadas concentraciones atacan a los materiales de construcción como el mármol, la caliza, la pizarra de techar, la arenisca, el yeso, etc.

- **Óxidos de nitrógeno (NO_x)**

Los efectos más relevantes son que puede causar daños en las plantas, directamente en función del tiempo de exposición, o indirectamente como precursores de contaminantes secundarios.

- **Óxidos de carbono**

La utilización de combustibles fósiles para obtener energía es la principal fuente antropogénica de estos gases. Una combustión incompleta, a diferencia de la completa que produce CO_2 , puede dar lugar a que parte del carbono sea emitido como monóxido, por ejemplo, en los incendios forestales.

- **Partículas en suspensión totales (PST)**

Sobre el ser humano, el principal efecto se produce por la intrusión de estas partículas en el sistema respiratorio. Las partículas comprendidas entre 0,5 y 5,0 μm pueden permanecer en los bronquios pero pocas llegan a los alvéolos, ya que son eliminadas por los cilios, pero las que permanecen en los pulmones limitan la capacidad respiratoria. En las plantas interfieren en la fotosíntesis, impidiendo la penetración de la luz solar y perturbando el proceso de intercambio de CO_2 .

- **Hidrocarburos:** son contaminantes primarios, sus principales componentes son carbono e hidrógeno. En general, los hidrocarburos emitidos a la atmósfera son tan numerosos que no es posible medir y estudiar cada uno de ellos fácilmente por separado, de ahí que se agrupan según su estructura.

La emisión de hidrocarburos proviene de variadas fuentes, tanto naturales como antropogénicas. Entre estas últimas, los vehículos son las más importantes, seguidas de disolventes e industrias del petróleo, alimentación y química orgánica. En general, los hidrocarburos presentes en el aire son una mezcla de gases procedentes de los tubos de escape de automóviles, gas natural y vapor de gasolina.

- **Metales pesados.** Son principalmente contaminantes primarios de origen antropogénico.
 - **Plomo:** produce daños cerebrales, convulsiones, alteraciones del comportamiento y muerte.
 - **Mercurio:** Muy tóxico en los organismos. Produce daños en el sistema nervioso central, riñones y cerebro.

CONTAMINANTES PRIMARIOS		CARACTERÍSTICAS	FUENTES NATURALES	FUENTES ANTRÓPICAS
Ox de C	CO	Contaminante primario Gas incoloro, inodoro, ligero y muy tóxico	Oxidación del metano generado en procesos naturales. Producción y degradación de clorofila. Incendios forestales. Liberación por los océanos	Combustión incompleta de hidrocarburos principalmente por los vehículos. Incineradoras de basuras
	CO ₂	Contaminante primario. Gas incoloro, inodoro y tóxico a alta concentración. No se considera contaminante al ser componente natural atmosférico	Incendios forestales	Utilización de combustibles fósiles. Incendios forestales.
Comp de S	SO ₂	Gas incoloro y no inflamable. Muy corrosivo. Se combina con agua atmosférica para dar H ₂ SO ₄	Erupciones volcánicas.	Combustión de carburantes azufrados. Incendios forestales
	SH ₂	Gas incoloro con un característico olor a huevos podridos. Se oxida fácilmente a SO ₂	Erupciones volcánicas. Descomposición anaeróbica de materia orgánica en zonas pantanosas	Plantas de gas. Refinerías de petróleo. Industria papelera.
Comp de N	NO _x	El NO es un gas incoloro e insípido. Se oxida fácilmente a NO ₂ , gas pardo rojizo, tóxico y muy oxidante.	Desnitrificación bacteriana. Tormentas. Erupciones volcánicas. Incendios forestales	Combustión a altas temperaturas de combustibles fósiles. Abonos agrícolas.
	NH ₃	Gas incoloro de olor irritante. Se oxida rápidamente a NO _x	Descomposición anaerobia de la materia orgánica del suelo y zonas pantanosas.	Combustión de carbón y petróleo.
Halo genados	Cl ₂	Gas amarillo verdoso, de olor irritante	Liberado por los océanos.	Industria química. Incineración de PVC.
	HF, HCl	El HF es un gas incoloro y muy corrosivo. El HCl es un gas incoloro, de olor fuerte e irritante.	Erupciones volcánicas.	Incineración de plásticos. Industrias de fertilizantes, de cerámica y vidrio, del aluminio.
	CFC	Gases estables, no tóxicos ni inflamables. Se emiten directamente por evaporación de disolventes.		Sprays. Industrias del frío. Disolventes industriales. Fabricación de material aislante.
COV	Furanos y dioxinas	Sustancias volátiles, irritantes, muy estables en la atmósfera y algunas muy irritantes.	Liberación por las plantas.	Industria petrolífera. Industria de pesticidas. Incineración de PVC.
Metales Pesados	Pb, Cd, Hg, Ni	Extremadamente peligrosos ya que no se degradan ni química, ni biológicamente, por lo que se acumulan en los seres vivos, transfiriéndose a través de las cadenas alimentarias.	Erupciones volcánicas. Incendios forestales. Oleaje. Procesos erosivos.	Combustiones industriales y domésticas. Incineración de residuos. Industria química y cementera. Extracción y tratamiento de minerales. Fabricación de fungicidas.
Partículas en Suspensión		Cenizas, polvo, polen, carbono,	Erupciones volcánicas. Incendios forestales. Oleaje marino. Floración de plantas.	Combustiones. Industria minera. Erosión del suelo. Acción eólica. Explosiones nucleares.
Cont Secund	SO ₃ , NO ₃ , H ₂ SO ₄ , HNO ₃	SO ₃ , por oxidación de SO ₂ . Reacciona con agua y da H ₂ SO ₄ NO ₃ por oxidación de NO ₂ , que da HNO ₃ . Forman lluvia ácida y smog fotoquímico		
	O ₃ troposf	Descargas de tormentas, volcanes y reacciones fotoquímicas a partir de NO ₂ y HC. Forma smog fotoquímico		
	PAN	Nitratos de PeroxiAcilo PAN. Proceden de reacciones de NO _x , con la energía de radiación ultravioleta solar (reacciones fotoquímicas)		

4.2. Factores que intensifican la contaminación local

Los contaminantes que llegan a la atmósfera se integran en ella y quedan ligados a su dinámica. Para producirse contaminación atmosférica, además de la emisión de los contaminantes, es necesario que se acumulen hasta alcanzar determinadas concentraciones. Por ello, para conocer la evolución de las concentraciones de los contaminantes es importante saber cómo se difunden, cómo se transportan y cuándo se acumulan en la atmósfera y en estos procesos juega un importante papel la meteorología.

La **dispersión** en la atmósfera de los contaminantes desde las fuentes de emisión depende de los siguientes factores:

1) Características de las emisiones.

Dependen del tipo de contaminante, de sus características fisicoquímicas, y de la fuente emisora.

- **Tipo de contaminante.** Si es gaseoso permanecerá en la atmósfera más tiempo que si es líquido o sólido pues en estos casos las partículas se depositarán más rápidamente.

- **Temperatura de emisión.** En el caso de los contaminantes gaseosos, si la temperatura a la que son emitidos es mayor que la del aire circundante, el contaminante ascenderá hasta las capas altas facilitándose así su dispersión. En caso contrario, se acumulará en las capas bajas de la atmósfera.

- **Velocidad de emisión.** A mayor velocidad, más rápidamente ascenderá y en situaciones de inversión térmica, tiene más posibilidades de atravesar esa capa de inversión y dispersarse fácilmente.

- **Altura del foco emisor.** A mayor altura, mayor facilidad para que se produzca la dispersión.

Condiciones atmosféricas locales.

La capacidad de la atmósfera para dispersar y diluir los contaminantes viene determinada por las



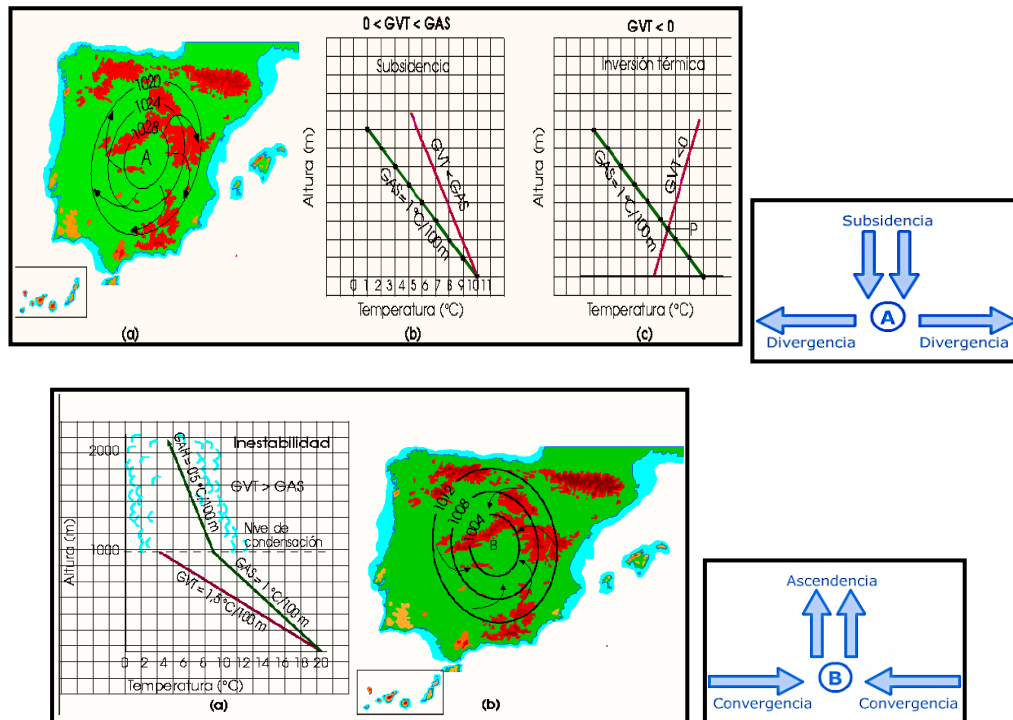
condiciones atmosféricas locales. Las situaciones anticiclónicas (las altas presiones implican “buen tiempo” y estabilidad atmosférica) dificultan la dispersión de los contaminantes y facilitan la formación de contaminantes secundarios. Las situaciones ciclónicas (las bajas presiones implican “mal tiempo” e inestabilidad atmosférica) facilitan la dispersión de la contaminación. Entre los factores atmosféricos a tener en cuenta destacan:

<- Dificultad de dispersión de contaminantes en Madrid.

El gradiente térmico vertical (GVT). Si $GVT > GAS$, el aire ascenderá, los contaminantes ascenderán con el aire expandiéndose al ascender y por tanto, disminuirá su concentración, hasta alcanzar la estratosfera donde se dispersarán. Por el contrario, cuando $GVT < GAS$, la dispersión de los contaminantes está dificultada al no haber corrientes ascendentes de aire.

*La temperatura de la troposfera es máxima en su parte inferior, unos 15°C de media, y a partir de ahí comienza a descender con la altura según un **gradiente térmico vertical (GVT)** con un valor medio de unos **0'6°C/100m**. Este descenso se debe a que la fuente de calor en la atmósfera es la irradiación desde el suelo; por tanto cuanto más alejado del suelo, más frío estará el aire. En días de fuerte insolación el GVT puede llegar a ser de **1,5 °C/100m***

*Se entiende por **gradiente adiabático** la variación de temperatura que experimenta una masa de aire en movimiento vertical, es decir, según la altitud y a calor constante. Cuando una **masa de aire asciende**, se desplaza de una zona de mayor presión a otra de menor presión, lo que produce una expansión del aire y por tanto, un descenso de su temperatura. Cuando desciende, se comprime y aumenta la temperatura. Dicha variación se estima en **1°C/100m**, para el aire seco (**gradiente adiabático seco -GAS-**). El gradiente adiabático seco es fijo, totalmente independiente de la temperatura del aire ambiental.*



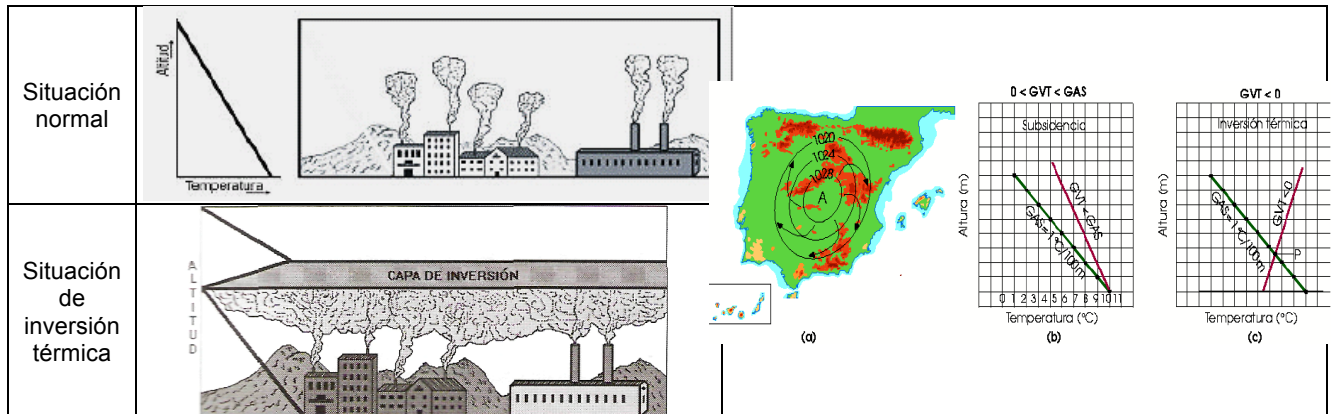
En la troposfera la temperatura disminuye con la altura ($GTV = -0,65^{\circ}C/100m$). En la parte más baja el aire es más cálido y por tanto, menos denso, por lo que tiende a ascender. En la parte más alta el aire frío es más denso y tiende a descender. Pero podemos encontrar zonas en las que existen perturbaciones en el GTV ($GVT < 0$) en las que 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.

Si con la altura la temperatura va disminuyendo en suficiente proporción, los contaminantes ascenderán con el aire, se irán expandiendo y 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. En situación de inversión térmica (zonas en las que el aire de más altura no desciende), los contaminantes quedan atrapados cerca de la superficie. Sin vientos importantes, temperaturas bajo cero y una gran estabilidad atmosférica no hay dispersión ni dilución de contaminantes.

Las inversiones térmicas se suelen producir en invierno, cuando las noches son más largas y la superficie terrestre se enfría mucho, 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, ya 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 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) que 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: por el movimiento de masas de aire de zonas cálidas a frías (el aire frío se sitúa abajo por ser más denso y el cálido, 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).



Factores meteorológicos que facilitan o dificultan la dispersión de los contaminantes:

- **Dirección y velocidad del viento.** Los vientos están relacionados con la dinámica horizontal atmosférica y son elementos importantes en la dispersión de contaminantes, en función de su dirección, velocidad y turbulencia. La dirección nos señala la zona hacia la que se pueden desplazar los contaminantes, la velocidad está en relación directa con la capacidad de dispersión y la turbulencia provoca una acumulación de contaminantes.

- **Precipitaciones.** Producen un efecto de lavado sobre la atmósfera, al arrastrar parte de los contaminantes al suelo. El efecto de lavado dependerá de la intensidad de las precipitaciones, del tamaño de las partículas contaminantes y del de las gotas de agua.

- **Insolación.** Favorece las reacciones entre los precursores de los contaminantes dando lugar a la formación de contaminantes secundarios.

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

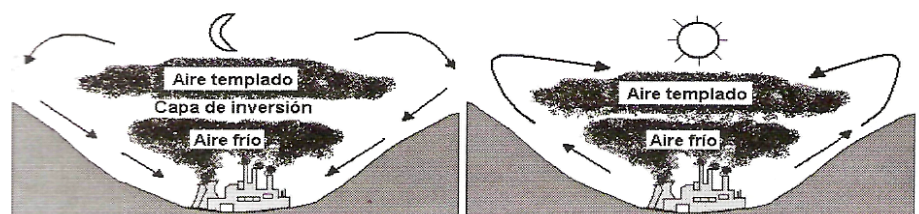
- **Las brisas marinas.** Se originan en las zonas costeras y durante el día desplazan los contaminantes hacia el interior, mientras que durante la noche, al invertirse la circulación de las mismas, la contaminación se desplaza hacia el mar facilitándose así su dispersión.

- **Presencia de grandes masas vegetales.** Las masas forestales disminuyen la contaminación en el aire, al frenar la velocidad del viento, facilitando la deposición de partículas. Además, la vegetación absorbe CO₂ para realizar la fotosíntesis, actuando como sumidero, y por tanto con función reguladora del mismo.

- **Topografía.** En zonas de valles y laderas se generan brisas de valle y montaña, a consecuencia del diferente calentamiento de las laderas y valles y del período día-noche. Durante el día las laderas se calientan y se genera una corriente ascendente de aire caliente mientras en el fondo del valle se acumula frío y se da una situación de inversión que impedirá la dispersión de los contaminantes. Durante la noche sucede lo contrario, formándose brisas de montaña, que dan lugar a la misma situación.

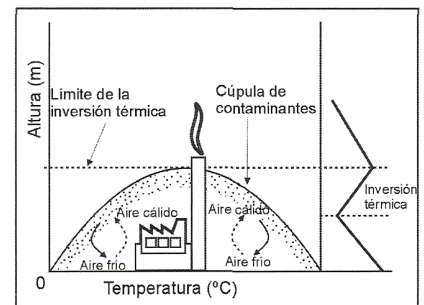
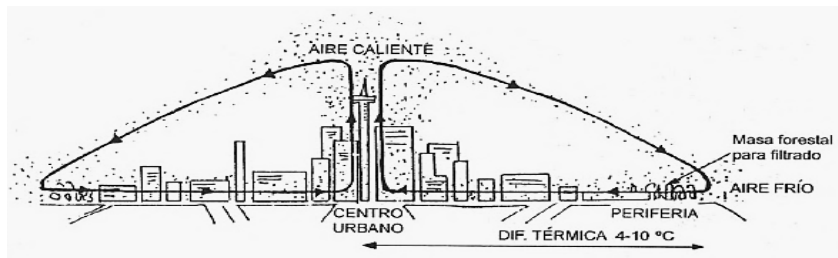
La presencia de núcleos urbanos contribuye a frenar o disminuir la velocidad del viento, gracias a la existencia de edificios. En situaciones de estabilidad atmosférica (sin viento y con cielo despejado), puede ocurrir que haya una diferencia de temperatura de hasta 9°C más en las zonas urbanas que en parajes rurales, este fenómeno es conocido por los meteorólogos como **islas de calor**.

En contra de lo que pudiera pensarse, las islas de



calor no tienen su origen en el funcionamiento de las calefacciones y el tráfico, sino en los mismos edificios que componen la ciudad pues las construcciones almacenan el calor que reciben y lo emiten por la noche, pero de forma mucho más lenta que en los espacios abiertos. En estos últimos, el descenso de la temperatura tras la puesta del Sol es mucho más brusco, lo que demuestra que los materiales de construcción acumulan mayor cantidad de energía que la vegetación y el suelo.

Las islas de calor urbano, se presentan en zonas donde predomina el cemento y la edificación en altura, condicionando una **circulación solenoidal** (masas de aire caliente ascendentes en el centro de la ciudad y de aire frío descendentes hacia la periferia). Dependiendo del tamaño y volumen de la población, de la urbanización y cantidad de vegetación, una ciudad puede tener una o varias islas de calor.



Factores que intervienen en la formación de islas de calor

1. Presencia de estructuras como el asfalto de las calles, los techos, y otras superficies oscuras que absorben e irradian calor. Cuando predominan en áreas urbanas pueden subir las temperaturas unos 3 a 5°C durante el tiempo seco. Esto puede notarse al ir de una zona asfaltada a un parque rodeado de árboles en un día de verano, entonces se pueden sentir los efectos de una isla de calor urbana.

2. El aumento de zonas industriales y de automóviles, que emiten gases hacia la atmósfera, contribuyendo de esta forma a aumentar el problema del efecto de invernadero. La contaminación de industrias y de motores (camiones, maquinaria de construcción,...) agrava el problema porque los productos químicos en el aire reaccionan con el calor y la luz del Sol.

Medidas correctoras

- Para evitar estas situaciones en las industrias se construyen chimeneas muy altas y con velocidades de salida de las emisiones muy altas, lo que rompe la capa de inversión.

- Aumentar las zonas verdes: Las plantas toman del aire el calor necesario para llevar el agua del estado líquido al gaseoso y así evaporarlo al aire mediante la transpiración. Si la cubierta vegetal es de un 30% la disminución de la temperatura es del orden de 4°C.

- Aclarar los techos. Los tejados oscuros absorben e irradian el calor que hace que la temperatura exterior aumente, contribuyendo así al efecto de la isla de calor. Substituyendo el material del tejado por otro con albedo más alto, las temperaturas interiores permanecerán moderadas durante el verano.

- Jardines en techos y azoteas verdes aclaran el paisaje urbano y agregan espacios verdes. En algunos países europeos, los jardines en techos hasta son obligatorios, como en Suiza, donde es requerido remplazar espacio verde por el espacio construido.

- Pavimentos claros, que reflejan luz haciendo la zona más fresca que el asfalto.

4.3. Efectos locales de la contaminación atmosférica: el smog

El **smog** (del inglés smoke: humo y fog: niebla) es un fenómeno de contaminación atmosférica local, típico de las áreas urbanas y zonas industrializadas, que se caracteriza por la formación de nieblas contaminantes con sustancias nocivas para la salud y el medio ambiente. Existen dos tipos de smog: el clásico (ácido), y el oxidante (fotoquímico).

• **Smog clásico, ácido o invernal.**

Está formado por una nube de aerosoles procedentes de las emisiones de humos y óxidos de azufre generados en la combustión del carbón y otros combustibles con alto contenido en azufre. Se produce en ciudades frías y húmedas, principalmente en invierno (situaciones anticiclónicas), a partir de contaminantes primarios. Las partículas actúan como núcleos de condensación del vapor de agua, que junto con el SO₂ forman los aerosoles. Este tipo de smog produce afecciones respiratorias e irritaciones oculares, y deteriora las hojas de las plantas decolorándolas y endureciéndolas. El caso más grave de smog ácido se dio en Londres en 1952 y causó la muerte de 4.000 personas.

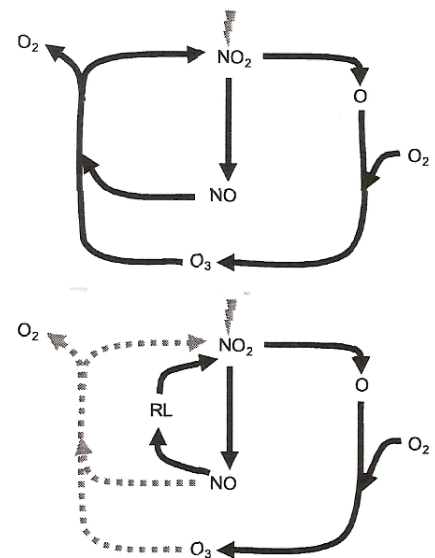
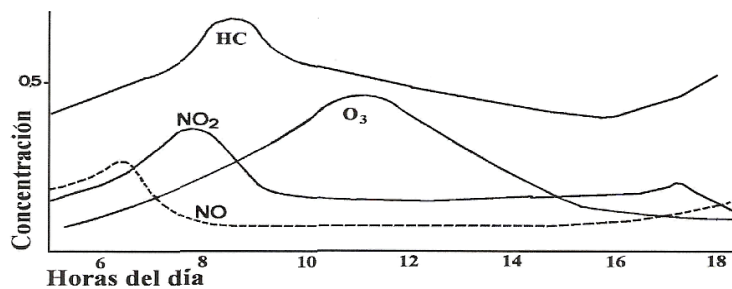
• **Smog fotoquímico o estival.**

Se origina en situaciones anticiclónicas, con mínima dispersión de los contaminantes, y con fuerte insolación. En estas condiciones se genera una intensa actividad fotolítica entre los contaminantes presentes (NO_x y COVs) y el oxígeno atmosférico, dando lugar a la aparición de contaminantes secundarios muy oxidantes (O₃, PAN y radicales libres). De los compuestos formados el más destacado es el O₃ y la medida de su concentración se utiliza como referencia para determinar el nivel de contaminación atmosférica.

El O₃ se forma a partir del NO₂, la radiación solar y el O₂ atmosférico, pero se destruye al reaccionar con el NO dando NO₂ y O₂ en una serie de reacciones cíclicas, de manera que no se acumularía en la atmósfera (**ciclo fotolítico del NO₂**).

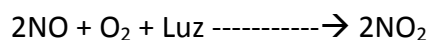
Cuando existen hidrocarburos (HC), el ciclo se desequilibra al reaccionar los radicales libres generados por ellos, con el NO, oxidándolo a NO₂ y originando radicales activos, lo que produce un aumento en la concentración de ozono, ya que no interviene en la oxidación del NO a NO₂.

En la gráfica se representa la variación de los niveles de ozono, junto con la de otros contaminantes urbanos a lo largo de una jornada. Podemos destacar que la concentración de hidrocarburos (HC) es superior a los demás contaminantes urbanos en todo momento del día. Ello se debe a la contribución de los HC emitidos por la vegetación que son los activadores de la polución nocturna.



A primeras horas de la mañana, cuando tiene lugar la gran afluencia de vehículos motorizados por las calles, se originan frecuentes atascos en muchas zonas de la ciudad y las calefacciones comienzan a funcionar, lo que produce un fuerte incremento en la emisión de hidrocarburos, NO y NO₂. A estas horas, la insolación es mínima por lo que la actividad fotolítica es nula.

Conforme avanza el día, aumenta la insolación y con ello la actividad fotoquímica de la atmósfera, disminuyendo posteriormente de forma paralela a como lo hace la intensidad de la radiación solar incidente, por lo que el NO se oxida a NO₂ aumentando entonces la concentración de NO₂.

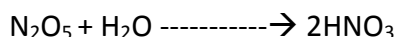
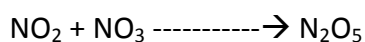


Debido a esto, vemos en la gráfica que el valor máximo de NO₂ está retrasado respecto al de NO. Es lógico si se tiene en cuenta que el NO₂ se forma por oxidación del NO. A su vez, esto origina un aumento del nivel de O₃ al combinarse el NO con los radicales libres que se originan a partir de los HC que a estas horas alcanzan valores máximos (*ciclo fotolítico del NO₂*). Este incremento en la generación de ozono, se produce a partir de que se alcanzan en la gráfica los valores máximos para NO₂ y HC. Seguidamente, los niveles de

hidrocarburos inician una disminución gradual, pues se consumen al participar en reacciones químicas que ocurren en la atmósfera urbana.

A partir del mediodía, la concentración de ozono disminuye a causa de ciertas reacciones químicas en las que el ozono manifiesta su gran poder oxidante. Así por ejemplo, el ozono transforma el CO a CO₂ y determinados hidrocarburos a aldehídos por lo que se produce una disminución de las concentraciones de O₃ y de hidrocarburos.

Durante la noche, los niveles más bajos de ozono se alcanzan durante la noche, cuando este gas reacciona con los óxidos de nitrógeno presentes en la atmósfera dando N₂O₅, que reacciona con el vapor de agua dando ácido nítrico, responsable de la acidez de las nieblas matutinas urbanas.



Los niveles máximos de O₃ se alcanzan por tanto en la parte central del día, cuando la actividad fotoquímica de la atmósfera es máxima, disminuyendo después de forma paralela a la intensidad de la radiación solar. Además del O₃, se producen otros contaminantes secundarios de carácter oxidante, cuya máxima concentración se alcanza a mediodía, de forma similar a lo que ocurre con el ozono. Estos oxidantes son, principalmente, el formaldehído, el ácido fórmico, el PAN y el ácido nítrico. Dada la similitud en el comportamiento químico en la atmósfera de estos oxidantes respecto al ozono, se escoge a este último como elemento de control para conocer el estado real de la contaminación urbana.

DIFERENCIAS ENTRE AMBOS TIPOS DE SMOG

TIPO	SMOG COMÚN	SMOG FOTOQUÍMICO
CONDICIONES METEROLÓGICAS	Baja insolación. Vientos flojos. T ^a inferior a 0°C.	Alta insolación. Vientos flojos. T ^a alrededor de 18°C.
PRINCIPALES CAUSAS	Combustión del carbón con alto contenido en S	transporte automotores
PRINCIPALES CONTAM	SO ₂	NO _x , O ₃ , PAN, aldehídos, hidrocarburos
AMBIENTE QUÍMICO	Reductor	Oxidante
ESTACIÓN CARACT	Invierno (situaciones anticiclónicas)	Verano (fuerte insolación y anticiclón)
HORARIO CARACT	Cerca del amanecer	Mediodía

4.4. Efectos regionales de los contaminantes atmosféricos: alteración de la capa de ozono y lluvia ácida

- **La destrucción de la capa de ozono: El ozono estratosférico.**

La formación del ozono se da en la alta estratosfera, sobre todo en el Ecuador donde la radiación solar y por tanto también la de UV (parte del espectro comprendida entre 100 y 390 nm), llegan en forma vertical. Desde aquí es transportado hacia los Polos y la baja estratosfera. Casi el 99% de la radiación ultravioleta del Sol que alcanza la estratosfera se convierte en calor mediante una reacción química que continuamente recicla moléculas de ozono.

La concentración de ozono varía con la altura sobre el nivel del mar. Si se comprimiera todo el ozono contenido en una columna de aire llevándolo a presión y temperatura estándar (1 atm. y 0°C), se obtendría una capa de 3mm de espesor. Teniendo en cuenta este hecho, para medir la concentración de ozono en la estratosfera, se utiliza la unidad Dobson (UD) que equivale a un espesor de 0,01 mm de O₃: una concentración de 300 UD corresponde a un espesor de 3 mm.

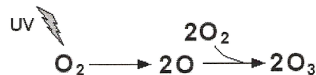
Afortunadamente para la vida, la peligrosa radiación U.V. que llega a la superficie terrestre es menos del 10 % de la que llega a la atmósfera superior procedente del Sol, gracias a la **pantalla de ozono de la estratosfera**, con una concentración máxima a los 30-40 km de altura. El ozono de esta capa, se forma y

destruye continuamente, manteniéndose en equilibrio natural desde que la fotosíntesis enriqueciese de oxígeno la primitiva atmósfera reductora. Se produce básicamente en las regiones ecuatoriales (más soleadas), pero es transportado por los vientos a la estratosfera y es más abundante encima de los Polos en el equinoccio de primavera, donde además de acumularse, su fotólisis es menor por ser débil en estas regiones el Sol durante el invierno.

En 1974, Rowland y Molina (premios Nobel en 1995) alertaron sobre el deterioro de la capa de ozono provocado por el hombre, estimándose que desde 1970 a 1981 había adelgazado esta capa en un 40%. La disminución del ozono antártico, demostrado en 1985, había aumentado unas 13 veces en 1991. Se confirmó entonces que el ozono estaba destruyéndose.

▪ Proceso global de formación.

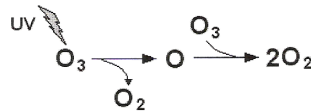
El ozono se forma en la estratosfera media y superior, mediante la disociación fotoquímica del oxígeno molecular, generada por la radiación UV-C, tal como lo establece la siguiente reacción:



Este proceso está determinado por la cantidad de radiación UV incidente, ya que la tasa de producción de O₃ es **más alta sobre el Ecuador** que a latitudes mayores, al ser más elevados los niveles de radiación UV en la zona ecuatorial. La distribución de O₃ en el planeta es el resultado de la combinación de procesos químicos y de transporte. El ozono producido en la zona ecuatorial, es eficientemente transportado a latitudes altas por el sistema de vientos. Cabe señalar que la columna de ozono puede variar substancialmente de un día a otro, debido a procesos dinámicos en la atmósfera.

▪ Proceso global de destrucción

La radiación UV-B produce la fotodisociación del ozono estratosférico tal como se establece en la siguiente ecuación obteniéndose finalmente 3 moléculas de oxígeno.



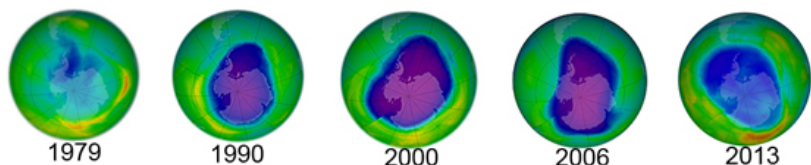
▪ Agentes destructores del ozono.

a) **Óxidos de nitrógeno.** De manera natural existen NO y NO₂ formados al reaccionar el oxígeno con el nitrógeno, por la alta energía de las tormentas. El principal óxido de nitrógeno que llega a la atmósfera por acción antrópica es el NO₂, procedente de las combustiones a altas temperaturas, desnitrificación de suelos y aviones supersónicos. Es muy estable, y por fotólisis se incorpora a los NO_x naturales. La concentración de NO₂ aumenta un 0'25% cada año.

b) **Cloro-fluoro-carbonos (CFCs).** Son sustancias químicas sintéticas, formadas por Cl, F y C que intervienen en la destrucción y/o adelgazamiento de la capa de ozono junto con compuestos halógenos como el bromuro de metilo y cloruro de metilo, que se emplean en la agricultura. La producción de CFCs contribuye aproximadamente un 20% al efecto invernadero.

El problema con los CFCs radica en que a temperaturas normales en la baja atmósfera son muy estables, pero al ascender, pierden esa característica al ser expuestos a temperaturas cada vez más altas (a medida que se asciende aumenta la temperatura estratosférica). Esto ocurre a gran altura, la que alcanzan al cabo de unos **diez años**, tiempo durante el cual permanecen químicamente inalterados.

Aunque han disminuido enormemente las emisiones de CFCs y otras sustancias que dañan el ozono estratosférico, su permanencia perdura en la atmósfera varias décadas. En el año 2000 se calculó que la capa de ozono necesitaría aproximadamente 50 años para recuperarse. Podría quedar restituida en el Polo Ártico en 2050. En la Antártida será más lenta y el "agujero" no desaparecerá hasta 2065.

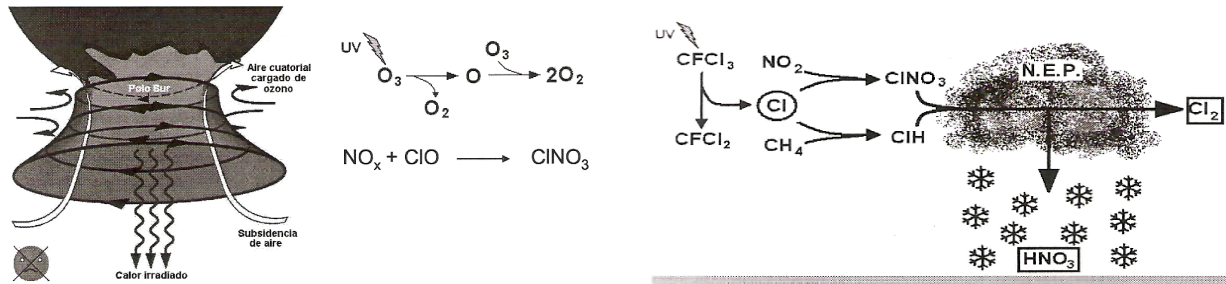


▪ Causas de la disminución de la capa de ozono en la Antártida.

Los **CFCs** son los grandes culpables de la destrucción del ozono estratosférico. Como en la troposfera son inertes y tienen muy baja densidad, pueden ascender hasta la estratosfera, donde la radiación U.V. los descompone liberando átomos de Cl que catalizan las reacciones de transformación del O_3 en O_2 . Cada átomo de Cl permanece alrededor de 100 años en la estratosfera, pudiendo llegar a destruir alrededor de 100.000 moléculas de O_3 antes de reaccionar con los NO_x para formar nitrato de cloro y quedar bloqueado.

- **El vórtice polar.** La pérdida de ozono se produce en los polos y sobre todo en el Polo Sur porque en el invierno ártico se forma un enorme remolino que produce corrientes de aire circulares y huracanadas que aíslan el aire de la Antártida durante los meses del **invierno antártico**. Este proceso evita el ingreso de las corrientes cálidas del Ecuador cargadas de O_3 aislando el aire de la Antártida durante el invierno antártico. De este modo la temperatura dentro del vórtice baja aún más alcanzando los $-85^\circ C$.

Este fenómeno controla en gran medida la cantidad de O_3 en la atmósfera polar y solo se presenta en el Polo Sur porque el Polo Norte tiene un relieve que impide formación de remolinos y las cadenas montañosas de Norte América, Europa y Asia frenan la llegada de los vientos.



- **Nubes estratosféricas polares.** En el interior del vórtice, el aire se enfría rápidamente llegando a temperaturas inferiores a -80° . Los cristales de hielo de las NEP actúan como núcleos de condensación de los NO_x que se hielan e inactivan, por lo que no pueden capturar átomos de Cl. Los NO_x al helarse actúan como núcleos de condensación de HNO_3 que cae con la nieve quedando la atmósfera desnitrificada. Durante la primavera el Cl destruye el O_3 y la falta de O_3 es retroalimentada positivamente pues al no haber tanto O_3 , no puede haber tanta absorción de UV y tampoco se pueden dar las reacciones de formación y destrucción del O_3 , la atmósfera estará más fría y se formarán más NEP.

▪ Efectos de la destrucción de la capa de ozono.

La consecuencia más inmediata del uso de estos gases es el progresivo adelgazamiento de la capa de ozono estratosférico, y por lo tanto un incremento de la radiación ultravioleta que llega a la Tierra. El incremento de esta radiación provoca entre otros males:

- Cáncer de piel.
- Daños al sistema inmunológico.
- Daño a los ojos, incluyendo cataratas.
- Aumento de quemaduras producidas por el sol y envejecimiento prematuro de la piel.
- Mayor riesgo de dermatitis alérgica y tóxica.
- Activación de ciertas enfermedades provocadas por bacterias y virus.
- Efecto adverso sobre ecosistemas tanto marinos como terrestres.
- Reducción en el rendimiento de las cosechas y de la industria pesquera.
- Daños a materiales y equipamientos que están al aire libre.

Todo esto genera un importante aumento en los costos de salud, donde las poblaciones menos desarrolladas son las más afectadas.

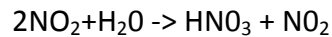
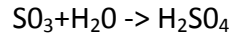
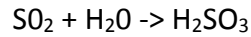
• La lluvia ácida (deposiciones ácidas)

Es una precipitación acuosa con **pH inferior a 5,6** que contiene una disolución de ácidos sulfúrico y nítrico producidos por los óxidos de S y N, que se disuelven en las gotas de agua de las nubes y llegan a la superficie con la lluvia. Puede llegar también en forma de polvo seco. La lluvia ácida es una consecuencia directa de los mecanismos de autolimpieza de la atmósfera.

▪ Agentes causantes.

Esta acidez de la lluvia se debe a la emisión antrópica de SO_2 y NO_x de las centrales térmicas y los vehículos a motor urbanos. Estos productos interactúan con la luz del Sol, humedad y oxidantes atmosféricos produciendo ácidos sulfúrico y nítrico (en menor cantidad HCl y ácidos orgánicos). Estos contaminantes secundarios pueden mantenerse varios días en el aire y ser transportados a otros países (**contaminación transfronteriza**), cayendo al suelo en forma de lluvia ácida. Su deposición puede ser también seca, y es tan dañina como la húmeda.

Algunas de las reacciones que dan origen a la lluvia ácida son las siguientes:



▪ Transporte de la lluvia ácida.

Está condicionado por la circulación atmosférica, y se puede ver frenado por los cationes Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} y NH_4^+ que básicamente proceden de la **evaporación en los océanos**. Por ello, la lluvia ácida se transporta preferentemente en el mismo continente, y **se frena en los océanos**. Las altas chimeneas usadas para evitar la contaminación local, proyectan los contaminantes a niveles donde pueden ser fácilmente transportados por el viento a regiones y países distintos de los productores.

▪ Efectos de la lluvia ácida.

- **Acidificación de los suelos.** Actúa en especial sobre suelos ácidos (pobres en calcio y en bases), como los suelos silíceos, disminuyendo la reserva mineral de la que pueden disponer las plantas por arrastre de sus cationes. En suelos básicos (calizos o basálticos) los efectos nocivos son menores, pues las sustancias alcalinas que contienen pueden neutralizar la acidez del agua.

- **Aguas subterráneas.** Parte importante de las precipitaciones ácidas, penetran a través del suelo y cuanto más permeable sea, más profundidad alcanza. Cuando el suelo está muy compactado, casi toda el agua caída fluye hacia ríos y lagos. El agua ácida infiltrada, alcanza niveles donde el suelo está saturado, pasando a formar parte de las aguas subterráneas que son la principal fuente de suministro de agua.

- **Acidificación de los lagos.** Los lagos y aguas dulces disminuyen su pH al recibir deposiciones ácidas, dañando seriamente a las comunidades acuáticas que son muy poco tolerantes a la acidez. Provocan la asfixia de los organismos acuáticos al aumentar el CO_2 disuelto y dificultar la respiración.

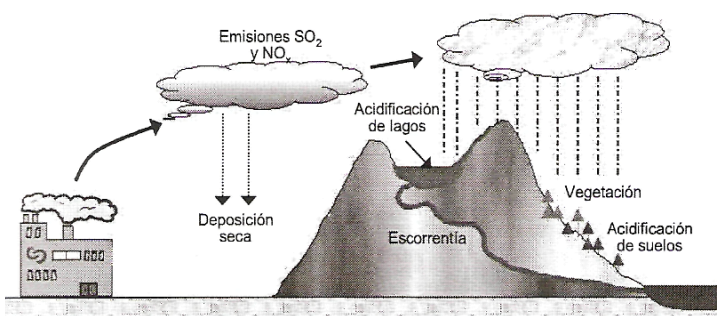
- **Destrucción de los bosques.** Provoca la corrosión de las hojas, al atacar la cutícula. Estas se vuelven amarillas y se inicia un proceso a veces irreversible, que lleva a la defoliación y a la muerte de las plantas. Estos daños se incrementan por la pérdida de nutrientes del suelo al disminuir los iones Ca y Mg y aumentar otros potencialmente tóxicos para las raíces como el Al y Mn. Se achaca a esta causa el deterioro de los bosques escandinavos, estadounidenses (Apalaches) y alemanes (Selva Negra), afectados en más del 30 %.

- **Sobre la fauna y flora.** Las especies de plantas más afectadas son los líquenes y musgos, que toman directamente el agua a través de sus hojas. Además, son indicadores directos de la contaminación atmosférica (bioindicadores) como es el caso de los líquenes respecto a las emisiones de SO_2 .

Las aves que viven cerca de aguas acidificadas ven afectada su reproducción: sus huevos aparecen con cáscaras muy delgadas. Los animales herbívoros se ven afectados ya que al acidificarse los suelos, las

plantas que ingieren acumulan una mayor cantidad de metales pesados (Al, Cd, etc.).

- **Deterioro en construcciones, materiales y pinturas.** Son fácilmente observables sobre los materiales de construcción, por lo que provocan una directa respuesta social. Las construcciones, estatuas y monumentos de piedra se deterioran por efecto de la lluvia ácida.



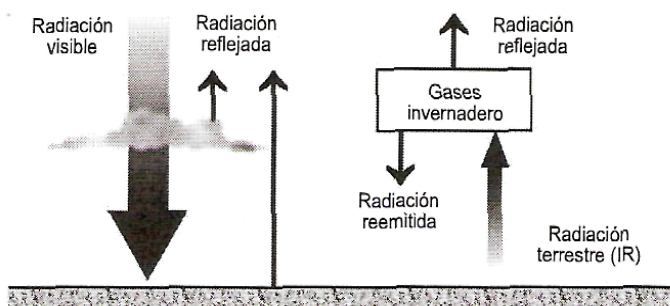
Materiales de construcción como el acero, pintura, plásticos, cemento, piedra caliza, arenisca y mármol también están expuestos a sufrir daños. La frecuencia con la que es necesario aplicar recubrimientos protectores a las estructuras va en aumento, lo que aumenta los costos adicionales.



Es difícil delimitar los efectos de los diversos contaminantes. Sin embargo se acepta que el principal agente corrosivo de los materiales de construcción es el SO_2 y productos derivados. Rocas como las areniscas y calizas se han utilizado con frecuencia como materiales para esculturas y monumentos. Ambas se corroen (**mal de la piedra**) con más rapidez con el aire de las ciudades cargado de azufre que con el aire sano libre de azufre. Cuando los contaminantes azufrados se depositan en superficies de areniscas o calizas, reaccionan con el carbonato del material y lo convierten en sulfato de calcio (yeso), fácilmente soluble, que es lavado con la lluvia.

La degradación de estatuas y monumentos, se ha acelerado considerablemente en los últimos años. Es una tragedia de la cual no es posible hacer un análisis económico. La mayor parte de las rocas dañadas son calizas (caso de muchos monumentos y catedrales) o tienen cemento calcáreo. Los tratamientos básicos consisten en sanear e impermeabilizar la roca con resinas sintéticas inertes o productos hidrófobos.

4.5. Efectos globales de la contaminación atmosférica: el incremento del efecto invernadero



El efecto global de la contaminación atmosférica es el **cambio climático global**, provocado por el calentamiento de la superficie terrestre como consecuencia del incremento del efecto invernadero.

Se llama **efecto invernadero** al papel que desempeña la atmósfera en el calentamiento de la superficie terrestre.

La atmósfera es prácticamente transparente a la luz visible e infrarroja que nos llega del Sol. La mayor parte de ella es absorbida y posteriormente se vuelve a emitir en forma de radiación infrarroja de onda larga. Esta energía al ser captada se transforma en calor actuando por tanto como una manta que impide que la Tierra se enfríe, recuperando parte de la energía devuelta por la Tierra.

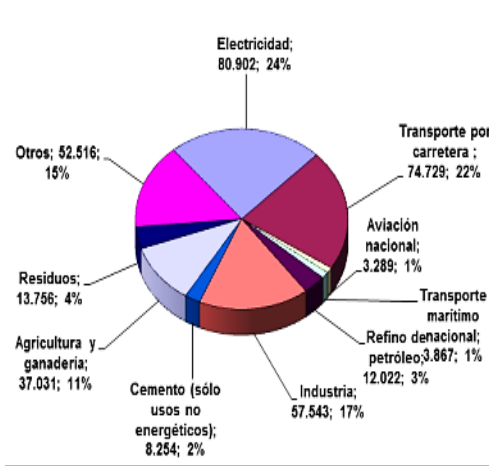
El efecto invernadero natural es importante, pues *sin él la temperatura media superficial terrestre sería de -18°C , con él es de $+15^\circ\text{C}$* , permitiendo la vida en la Tierra en las condiciones que conocemos.

▪ Los gases de efecto invernadero (G.E.I.)

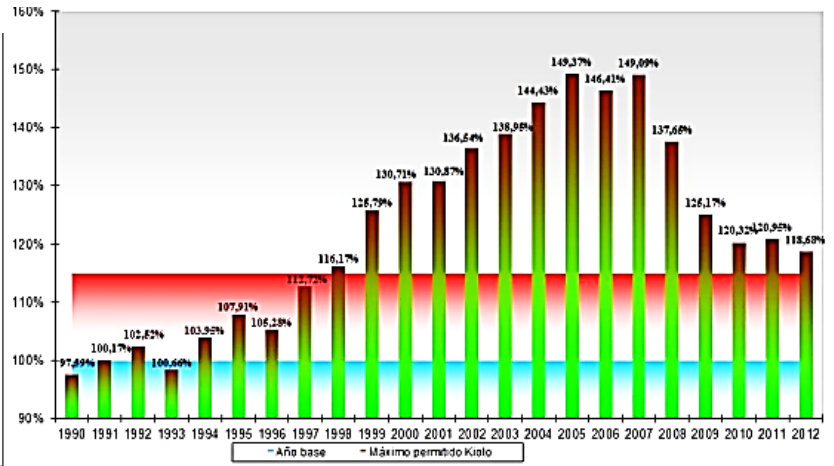
- **Dióxido de carbono (CO_2)**. Es el gas de mayor influencia, entre el 55 y el 80% del E.I., aunque no se considera como un contaminante, pues forma parte natural del aire.

Como consecuencia de su ciclo natural, experimenta *fluctuaciones diarias* (relación luz - fotosíntesis) y *estacionales* (disminuye en las estaciones de mayor producción vegetal), también aumenta tras la lluvia al ser mayor la respiración de los organismos descomponedores del suelo. Otro factor natural que afecta a la concentración de CO_2 es la capacidad de absorción de los océanos, que puede sobrepasar el 70% del producido, debido a la solubilidad del gas en el agua (se produce carbonato cálcico que queda atrapado en los fondos marinos, por ejemplo en los caparzones de los corales).

Este ciclo natural se desequilibra por la inyección del CO_2 procedente de las actividades humanas, en especial la quema de combustibles fósiles y de madera (70%), transformación de caliza en cemento y de la intensa deforestación (25%). Esta producción antrópica lleva un ritmo que no puede ser absorbido por la acción conjunta de la fotosíntesis vegetal y del almacenamiento subterráneo y marino.



Emissiones de G.E.I. por actividades en 2012



Evolución de las emisiones de G.E.I. en España (1990-2012)

- **Metano (CH₄).** Es el segundo gas en importancia, alrededor del 20%, con una concentración de 1,7 ppm, que ha aumentado en los últimos años por fuentes antrópicas, en especial por fermentaciones del aparato digestivo del ganado, arrozales, fugas de oleoductos, vertederos y la combustión de biomasa.

- **Cloro-fluoro-carbonos (CFCs).** Ocupan el tercer lugar, contribuyendo casi en un 20% al E.I. Los CFCs son sustancias químicas sintéticas, formadas por cloro, flúor y carbono.

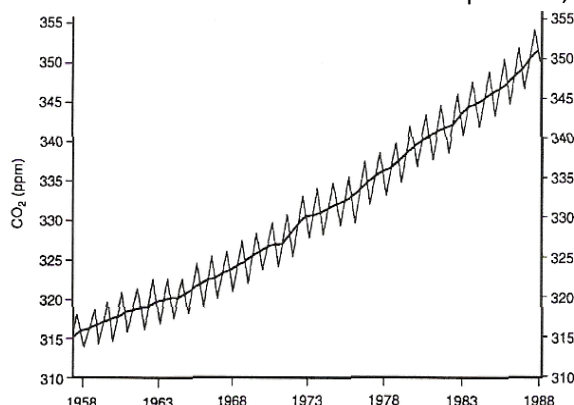
Las moléculas de CFC tienen una larga vida activa. El CFC-11 es activo durante 65 años y el CFC-12 durante 110 años. Cada molécula de CFC-11 y de CFC-12 contribuye al efecto invernadero 3.500 y 7.300 veces más respectivamente, que cada molécula de CO₂. Los CFCs también destruyen la capa de ozono en la estratosfera, causando que una mayor proporción de rayos ultravioleta alcance la superficie de la tierra.

La manifestación del efecto invernadero es un calentamiento global significativo de la atmósfera, que de seguir con el mismo nivel de emisiones sería de 0,3°C cada 10 años, con aumentos de 2 a 6°C para mediados o finales del siglo XXI.

▪ **Consecuencias del incremento del efecto invernadero.**

Una de las consecuencias del cambio climático es la subida del nivel del mar. Al aumentar la temperatura, parte del agua retenida en forma de hielos sobre los continentes y en los casquetes polares se fundirá, discurriendo hasta alcanzar el mar, que subirá de nivel. El proceso ha ocurrido múltiples veces en la historia de la Tierra. La subida del nivel del mar afectará sobre todo a las regiones costeras que son las más pobladas de todo el planeta. Sus efectos serán múltiples:

- Inundación de áreas cercanas al mar, muy grave en islas y zonas deltaicas, que pasarán a quedar cubiertas por el agua.
- Avance transgresivo de las zonas batidas por los temporales que afectará sobre todo a ciudades costeras y a zonas turísticas, con una salinización de los acuíferos costeros.
- Desaparición de lagunas costeras y marismas, algunas de las zonas naturales más frágiles del planeta y ricas en biodiversidad.
- Alteración de la escorrentía superficial, que favorecerá la inundación de zonas cercanas a la costa y paralización de parte de los sistemas de alcantarillado de ciudades costeras, que cuentan con muy poca pendiente lo que obligará a establecer sistemas de bombeo para verter esas aguas.



La gráfica muestra la evolución de la concentración media de CO₂. La oscilación anual se debe a la absorción del CO₂ por la vegetación durante la primavera y el verano del hemisferio norte, de ahí que presente esa forma en **diente de sierra**.

4.6. El cambio climático

Se puede definir como la diferencia entre las condiciones climáticas en dos tiempos distintos. El cambio climático toma muchas formas, y ocurre en distintas escalas de tiempo y geográficas. En la actualidad, los científicos se han interesado en estudiar los cambios asociados al calentamiento global debido al impacto de las actividades humanas en la proporción de G.E.I. en la atmósfera. Este es el llamado incremento del efecto de invernadero.

La evidencia del cambio climático es **geomorfológica** (restos de formas del relieve creadas bajo climas distintos), **sedimentológica** (el tipo y composición de los sedimentos que se acumulan en una cuenca es controlado por el clima), y **biológica** (los organismos se adaptan a las condiciones climáticas; los fósiles se asocian al ambiente de depósito).

CAUSAS NATURALES DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS

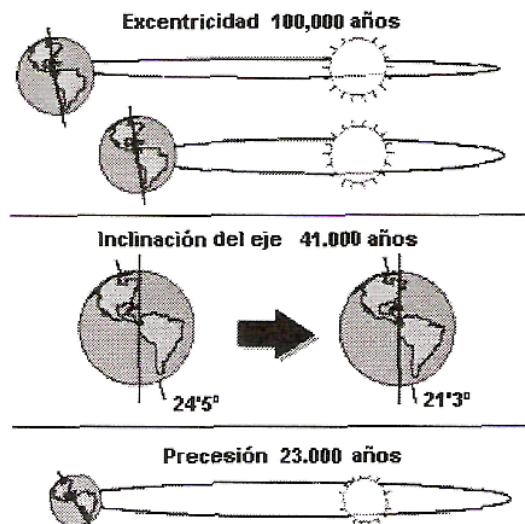
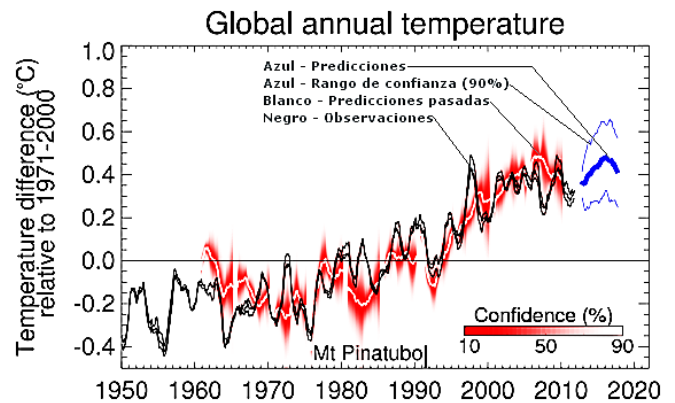
a) Variaciones de la energía emitida por el Sol. Lovelock en su teoría Gaia, sostiene que la energía solar ha variado a lo largo del tiempo. Parece seguro que existen unos ciclos de actividad solar, con manifestaciones como las **manchas solares**, que se producen cada 11 años, aunque no está claro el modo en que repercuten en nuestro clima. También hay un ciclo de polaridad magnética solar del orden de 22 años y puede haber otros ciclos desconocidos más largos.

b) Variaciones en la órbita terrestre. Los cambios en el carácter de la órbita terrestre alrededor del Sol, se dan en escalas de tiempo de milenios o más largos. Pueden significativamente alterar la distribución estacional y latitudinal de la radiación recibida. Son conocidas como **Ciclos de Milankovitch o astronómicos**. Son estos ciclos los que fuerzan cambios entre *condiciones glaciares e interglaciares* pues al disminuir la radiación incidente, disminuye la temperatura, activándose el bucle hielo-albedo. Se deben a tres factores:

- **Excentricidad de la órbita.** La Tierra gira alrededor del Sol describiendo una elipse. La excentricidad de la órbita sigue ciclos de unos 100.000 años, en los que los recorridos pasan de ser casi circulares a elípticos. En una órbita como la actual, la diferencia en el valor de la constante de radiación solar que llega a la Tierra entre el punto más cercano al Sol (perihelio) y el más alejado (afelio) es de un 6%.

- **Inclinación del eje.** La inclinación del eje de giro respecto a la perpendicular al plano de la eclíptica varía entre 21° y 24° en períodos de unos 41.000 años. Una mayor oblicuidad modifica la posición de los trópicos y, aunque la energía que llega a la superficie terrestre es la misma, no lo es su distribución, acentuándose la estacionalidad del clima.

- **Posición en el perihelio.** El perihelio es el punto de la órbita terrestre más cercano al Sol y el afelio el más alejado. Está relacionado con el **movimiento de precesión** o cabeceo del eje de rotación respecto a la estrella Polar, que describe ciclos de 23.000 años y afecta a la localización del perihelio (diciembre) y afelio (junio) en el hemisferio norte.



c) Eventos catastróficos.

- **Impactos meteoríticos.** Levantan gran cantidad de "polvo" que resta transparencia a la atmósfera, aumentando la contrarradiación y provocando un enfriamiento del clima. El ejemplo más típico es el del asteroide que impactó al final del Cretácico, con la extinción de numerosas especies.

- **Emisiones volcánicas.** Algunos volcanes expulsan gran cantidad de cenizas y pequeñas partículas (aerosoles) capaces de alcanzar y permanecer durante mucho tiempo en la alta troposfera o en la estratosfera. Estas partículas tienen una enorme capacidad reflectante y representan una pérdida muy importante de radiación solar (un 5 ó 10 %) generando bajadas considerables de la temperatura. La intensa actividad volcánica en el pasado influyó de manera más relevante en el clima terrestre.

d) Configuración de continentes y océanos. Los continentes han variado mucho su posición relativa a lo largo de la historia de la Tierra. Suponiendo una relación de superficies continental/oceánica semejante a la actual, han existido diferencias en la distribución de las masas continentales. Este último factor es el que permite la circulación de corrientes oceánicas que regulan la temperatura de las aguas.

Un caso especial se produce cuando todos los continentes se reúnen formando un supercontinente (Pangea). Se sabe que ha habido al menos dos situaciones de Pangea, una hace 600 m.a. (final del Proterozoico) y otra hace 300 m.a. (final del Carbonífero). La consecuencia de esta agrupación es una continentalización del clima, ya que las masas de aire oceánicas cargadas de vapor de agua no pueden penetrar hasta el continente.

e) Composición química de la atmósfera. Es el factor que más debió influir en los cambios climáticos del pasado más lejano. Se sabe que nuestra atmósfera es, en gran medida, producto de la "desgasificación" interna de la Tierra durante las etapas iniciales de consolidación como planeta, completada hace 3.500 m.a. La primitiva atmósfera evolucionó hasta hace unos 300 m.a., momento a partir del cual su composición puede considerarse muy semejante a la actual.

f) Actividades humanas. Es la actual causa de alteración del clima; desde el comienzo de la revolución industrial la concentración de CO₂ en la atmósfera está en continuo aumento. De seguir al ritmo actual podría alcanzar el nivel de 0.06 % (frente al 0.035 % actual) a mitad del siglo XXI, lo que significaría un aumento de la temperatura media de la superficie de la Tierra entre 1'5 y 4°C.

g) Mecanismos de retroalimentación ("feedback"). Son ejemplos de mecanismos de retroalimentación todos aquellos que alteran el albedo terrestre (crecimiento de los casquetes de hielo, extensión de zonas desérticas o forestales, erupciones volcánicas...), los procesos que alteran la concentración atmosférica de gases invernadero (formación de agua marina profunda, productividad primaria marina, vegetación, etc.), balance hidrológico (dirección e intensidad de los vientos, gradientes térmicos, etc).

LA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD HUMANA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

Actualmente el ser humano podría poner en peligro su propio nicho ecológico con la amenaza del calentamiento global. Los productos gaseosos de la civilización, en forma de gases de efecto invernadero como el CO₂, han atrapado en la atmósfera el calor suficiente para elevar 0'5°C la temperatura atmosférica media de la superficie terrestre durante este siglo. De persistir esta tendencia, podrían alterarse los patrones climáticos en todo el mundo, o bien podría no suceder nada. El clima mundial depende de una combinación de factores que interactúan de forma compleja que aún no alcanzamos comprenderlo del todo.

En 1995 el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), afirmó que "las pruebas en su conjunto indican que el hombre influye de manera ostensible en el clima mundial". El grupo señaló que se desconoce el grado de influencia debido a "las dudas que aún imperan con respecto a factores clave", incluida la medida en que las nubes y los océanos inciden en los cambios térmicos. Mientras aún las consecuencias de la actividad humana son inciertas, la capacidad del hombre de alterar el equilibrio atmosférico es indiscutible.

10 ACCIONES QUE NEUTRALIZAN LOS EFECTOS DEL CALENTAMIENTO GLOBAL

El calentamiento global es la forma en que la temperatura de la tierra se incrementa, en parte debido a la emisión de gases asociada con la actividad humana. A continuación te presentamos 10 Acciones ó Medidas para neutralizar los efectos del mismo.

El informe 2013 del IPCC en cifras

El calentamiento climático se debe a una actividad humana con 95% de certeza, según los expertos.

259 Cantidad de científicos que contribuyeron en el nuevo informe.	2007 El IPCC recibe el premio Nobel de la Paz.
1983-2012 Período más caliente desde hace 1400 años.	+4,8°C Alza posible de la temperatura de la superficie de la Tierra en 2100 (escenario más pesimista).
82 cm Aumento posible del nivel del mar en el 2100 (escenario más pesimista).	+20% Aumento del nivel de CO2 en la atmósfera desde 1958.
2050 Fecha en la cual el mar de hielo del Ártico podría derretirse completamente en verano.	Fuente: IPCC, AFP, EL COMERCIO

- Reduce el Consumo de Agua**
Evita gastos innecesarios de agua. Mantén la ducha abierta sólo el tiempo indispensable, no dejes la llave abierta mientras te lavas los dientes o afeitas, no arrojes ningún tipo de basura al mar, ríos o lagos.
- Educación**
Educa a los más jóvenes y a todo los que conozcas en el respeto a la naturaleza.
- Transporte**
Modera el uso del vehículo, haz uso eficiente del mismo. No acelere cuando el vehículo no este en movimiento. Reduce el consumo de aire acondicionado.
- Papel**
Usa habitualmente papel reciclado. Reduce el consumo de papel. Usa las hojas por las dos caras. Haz sólo las fotocopias necesarias.
- Gobierno**
Exigir la gestión sostenible a largo plazo de los recursos naturales.
- Planta un Arbol**
Una Hectárea de arboles elimina a lo largo de un año la misma cantidad de dióxido de carbono que producen 4 familias en ese mismo tiempo.
- Recicla la Basura**
Separa los distintos elementos de tu basura: Aluminio, Papel, Vidrio, Plásticos y Materia Orgánica, para volverlos a utilizar.
- Energía**
Evita usar en exceso la plancha, el calentador de agua o lavadora. Apaga tu computadora y TV luego de usarla. Utiliza bombillos de bajo consumo de energía.
- Alimentación**
No consumas animales exóticos como tortugas, iguanas, etc. Consume más frutas, verduras y legumbres que carnes. Nunca compres pescados de tamaños pequeños para consumir.
- Productos Químicos**
Minimizar el uso de compuestos químicos como aerosoles, fertilizantes, etc.

4.7. Medidas de prevención de la contaminación atmosférica

- **Vigilancia de la calidad del aire.**

Consiste en un conjunto de sistemas y procedimientos utilizados para evaluar la presencia de agentes contaminantes en la atmósfera, así como la evolución de sus concentraciones en el tiempo y en el espacio, con el fin de prevenir y reducir los efectos que pueden causar sobre la salud y el medio ambiente. Dicha vigilancia se puede llevar a cabo a **escala local**, poniendo en marcha redes de vigilancia locales (redes urbanas); a **nivel comunitario**, mediante programas específicos de vigilancia de contaminación transfronteriza, o a **nivel mundial**, elaborando programas de ámbito mundial como la red BAPMON, que se encarga del análisis y evolución de los datos sobre los gases invernadero o el estudio de la disminución de la capa de ozono.

a) Redes de estaciones de vigilancia, constituidas por equipos manuales, que se encargan de la toma de muestras y su análisis en el laboratorio, y por equipos automáticos de medida continua, que suministran datos hacia un centro de control. Entre ellos destacan las redes urbanas, cuyo fin es conocer la concentración de cada contaminante, estudiando para ello los parámetros que afectan al efecto invernadero, a la capa de ozono y los relacionados con la lluvia ácida.

b) Métodos de análisis, que comprenden procesos físicos, basados en someter las muestras de aire a ensayos en los que no se alteran las características de los contaminantes, como la determinación del color o de la absorción de luz en diferentes longitudes de onda, y métodos químicos, basados en la transformación que sufre la sustancia objeto de análisis.

c) Indicadores biológicos de contaminación (bioindicadores), que se basan en el análisis de la sensibilidad que presentan algunas especies de seres vivos a ciertos contaminantes gaseosos atmosféricos, cuyos efectos permiten identificar su presencia y vigilar la evolución de la contaminación atmosférica.

Entre los contaminantes más comúnmente detectados mediante indicadores biológicos tenemos HF, SO₂, oxidantes fotoquímicos, metales pesados e isótopos radiactivos. Entre las especies empleadas destacan los **líquenes**, que son muy sensibles al SO₂, HF y HC1, ya que les producen alteraciones morfológicas y fisiológicas importantes.

- **Medidas de prevención y corrección.**

Entre las distintas acciones destinadas a disminuir o corregir el problema de la contaminación del aire destacan las siguientes:

1) Medidas preventivas, encaminadas a evitar la aparición del problema, como son:

- **Planificación de usos del suelo**, que mediante los planes de ordenación del territorio contemplen los lugares idóneos para establecer industrias, de forma que sus efectos sobre las poblaciones, vegetación, animales y materiales sean menores.

- **Evaluaciones de impacto ambiental**, que son estudios previos de las alteraciones que sobre el medio ambiente en general y sobre la atmósfera en particular van a provocar la realización de determinadas acciones, proyectos, etc., con el fin de establecer medidas correctoras que mitiguen los impactos antes de que aquellos se lleven a cabo.

- **Empleo de tecnologías de baja o nula emisión de residuos**, basadas en el desarrollo de procesos que traten de evitar la contaminación en origen.

2) Medidas correctoras, como la depuración del aire contaminado y las estrategias de dispersión. Se recurre a ellas para evitar la descarga masiva de contaminantes a la atmósfera. Entre ellas podemos mencionar:

- **Concentración y retención de los contaminantes** con equipos de depuración, como el empleo de filtros de tejido, precipitadores electrostáticos y absorbedores húmedos. Este método tiene el inconveniente de transferir la contaminación de un medio a otro, ya que al evitar la concentración de contaminantes del aire se producen residuos sólidos y líquidos que pueden contaminar, a su vez, el suelo o el agua.

- **Sistemas de depuración** que emplean mecanismos de absorción basados en la circulación de líquidos capaces de disolver el contaminante gaseoso, métodos que emplean sólidos que retienen selectivamente los contaminantes a eliminar, procesos de combustión de contaminantes 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.