

# Tema 3: LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE.

## Conceptos:

1. Introducción. La contaminación.
2. Los contaminantes: físicos, químicos y biológicos.
  - a. Físicos.
  - b. Químicos:
  - c. Biológicos:
3. Factores que influyen en la dispersión de los contaminantes.
  - a. La inversión térmica.
  - b. Islas térmicas y nieblas fotoquímicas.
4. Efectos de la contaminación atmosférica:
  - a. Lluvia ácida,
  - b. Destrucción de la capa de ozono,
  - c. Efecto invernadero y el calentamiento global.
5. Indicadores biológicos para detectar la contaminación.
6. Instrumentos mecánicos de medida y control de la contaminación.
7. Prevención y medidas correctoras.

## Criterios de evaluación mínimos:

**Conoce las principales fuentes de contaminación del aire.**

**Conoce los contaminantes biológicos y físicos del aire.**

Es capaz de identificar efectos y causas de la contaminación y proponer medidas de prevención.

**Conoce los contaminantes químicos del aire: su origen, eliminación natural, efectos y métodos de corrección.**

Es capaz de relacionar y prever situaciones de contaminación con condiciones climatológicas propicias.

**Describe las causas y efectos de la lluvia ácida, el deterioro de la capa de ozono y el efecto invernadero.**

---

## 1.- Introducción. La contaminación (*pollution*).

La **contaminación atmosférica**: condición de la atmósfera en la que ciertas sustancias o energías alcanzan unas concentraciones por encima de su nivel ambiental normal pudiendo causar daños, riesgos o molestias a las personas, ecosistemas o bienes.

## 2. Los contaminantes: físicos, químicos y biológicos.

Por su **origen** los contaminantes se pueden clasificar en:

- **Naturales** (volcanes, incendios, aguas estancadas, descargas eléctricas.
- **Antrópicos** generados por la actividad humana. RSU, transporte, industria, agricultura, ...

Por su **naturaleza**:

- **Físicos.**
- **Químicos.**
- **Biológicos.**

## 2.1 Contaminantes físicos.

### 2.1.1 El ruido.

Sonido molesto capaz de crear malestar psicológico o fisiológico, temporal o permanente (en casos extremos el sonido puede llegar a matar: bombas sónicas).

Su medida:

**Intensidad:** en decibelios (dB), décima parte del Belio (en honor de Alexander Graham Bell). Se trata de una escala logarítmica  $\text{Belio} = \log \frac{\text{intensidad del ruido}}{\text{intensidad de referencia}}$ . (se toma como referencia el umbral de audición).

$$L_W = 10 \times \log_{10} \frac{W_1}{W_0(10^{-12})} (dB)$$

$W_0$  representa al umbral de audición medido en Watios =  $10^{-12}W$ .

Generalmente se utiliza una medida: nivel acústico equivalente (Leq) que es un ruido constante y continuo con la misma intensidad que el conjunto de ruidos fluctuantes.

**Frecuencia:** graves---agudos . audible entre 16 y 20000 Hz.

Su origen:

Natural y antrópico.

Su percepción:

- Influyen factores ambientales y psicológicos.
- Depende de tipos de superficies, obstáculos, vegetación.
- El silencio roto.
- La habituación al sonido de fondo (campanas, tráfico,...).
- ¿están hablando de mí? ¿El pasillo cuando estoy en un examen o cuando salgo al recreo? (el mismo ruido, distinta percepción) ¿qué os irrita más, el ruido de la moto cuando vais en ella o cuando pasa bajo vuestra ventana de noche? Locales, la calle (de fiesta o intentando descansar), el avión.

Sus efectos:

Pérdida auditiva: (cascos).

180 dB	Explosión del Volcán Krakatoa. Se cree que es el mayor sonido registrado en la historia.
140 dB	Umbral del dolor
130 dB	Avión despegando
120 dB	Motor de avión en marcha
110 dB	Concierto
100 dB	Perforadora eléctrica
90 dB	Tráfico
80 dB	Tren
70 dB	Aspiradora
50/60 dB	Aglomeración de Gente
40 dB	Conversación
20 dB	Biblioteca
10 dB	Respiración tranquila
0 dB	Umbral de audición

Perturbación del sueño.  
Stress.  
Dolores de cabeza, hipertensión, irritabilidad.

Su **corrección**:

Estudio de superficies de rodamiento: asfalto, empedrado, ...  
Estudio de ubicación de aeropuertos e infraestructuras como autovías.  
Regulación de horarios: carga y descarga, recogida de basuras, ...  
Pantallas acústicas: metálicas, vidrio, arbóreas, soterramiento, ...  
Aislamiento acústico de viviendas.

### 2.1.2 Radiaciones ionizantes.

Se llaman ionizantes porque su absorción implica la ionización de átomos.

Son los rayos X, ultravioleta lejanos y las radiaciones alfa, beta y gamma.

**Efectos**:

Alteran las moléculas creando cargas donde no las había. Es especialmente importante en el caso del ADN ya que producen fallos en la copia que dan lugar a mutaciones. Por el mismo motivo desnaturalizan proteínas.

Las emisiones **naturales** se relacionan con la presencia de elementos **radiactivos** presentes en las rocas. Las zonas graníticas de España (simplificando: mitad occidental de la península) son las más afectadas. Otra fuente son las radiaciones **ultravioletas** no filtradas por la atmósfera.

Las emisiones **antrópicas** se producen en:

Centrales nucleares. El peligro reside fundamentalmente en el almacenamiento de residuos de larga vida media<sup>1</sup>.

Materiales sanitarios y similares, su uso (abuso de radiografías) y el tratamiento de sus residuos.

Su **prevención y corrección**:

Seguimiento de las medidas de seguridad de los materiales radiactivos.

---

<sup>1</sup> La vida media de un elemento radiactivo es el tiempo que tardan en desintegrarse la mitad de los átomos de dicho elemento. Este valor es una constante por lo que, transcurrido otro periodo igual de tiempo se habrán desintegrado la mitad de los que quedan y así sucesivamente.

Elaboración, difusión y cumplimiento de los planes de emergencia y evacuación.

Tratamiento adecuado de los materiales de baja intensidad.

Ventilar adecuadamente los espacios, fundamentalmente sótanos de terrenos graníticos.

### 2.1.3 Radiaciones electromagnéticas no ionizantes.

Campos electromagnéticos: telefonía móvil, redes de alta tensión, etc.

### 2.1.4 Contaminación lumínica.

La luz empieza a ser considerada como agente contaminante. El exceso de luz nocturna genera alteraciones en los biorritmos de la fauna y de las personas.

Supone un despilfarro de energía, en muchas ocasiones innecesario en publicidad, iluminación artística de edificios, exceso de iluminación en calles y plazas, autovías, polígonos industriales sin construir, etc.

No nos deja disfrutar de las estrellas en kilómetros a la redonda. La sociedad española es especialmente derrochadora en este capítulo comparado con otras ciudades europeas y americanas.

#### Prevención y corrección.

Las farolas y puntos de luz que emiten luz en todas direcciones con intensidades desproporcionadas, con lámparas antiguas deberían ser sustituidas por lámparas que emiten hacia el suelo y con sistemas más modernos como Leds.

Ahorro de energía subsiguiente.

## 2.2 Contaminantes químicos.

Sustancias químicas emitidas a la atmósfera: coches, industrias, aerosoles, volátiles, etc. (antrópicas en su inmensa mayoría, incluso se pueden considerar de este modo las flatulencias de las vacas de nuestras ganaderías extensivas).

Al ser gases o disolverse en el aire se denominan **emisiones**.

Los contaminantes emitidos se denominan **primarios**.

Los que se forman por reacciones posteriores entre ellos: secundarios.

**Emisión** es la cantidad de contaminante vertido a la atmósfera en un período determinado desde un foco, mientras que la **inmisión** es la concentración de contaminantes a nivel del suelo. Hoy se emplea más el término «calidad de aire ambiente». La inmisión vendrá determinada por la diferencia entre los emitidos y producidos en la misma y los que se eliminan a través de los procesos de autodepuración por deposición, precipitación y absorción por el suelo, el agua y la vegetación.

La mayoría de estos procesos tienen lugar en la troposfera, ocasionalmente sustancias muy estables alcanzan la estratosfera. Los movimientos están determinados por:

Las condiciones climatológicas del lugar.  
Los vientos dominantes,  
La orografía,

Y por condiciones locales como:

**Inversiones térmicas** en los valles.  
Las **brisas** marinas  
Las **islas térmicas** que son las grandes ciudades.

Los principales contaminantes químicos son?:

**Monóxido de carbono. CO**

De forma natural por emisión de los océanos, descomposición del metano.

Por la combustión incompleta de hidrocarburos y materia orgánica en general: motores mal regulados, braseros, hogueras, estufas de carbón o leña, tabaco, materiales plásticos y del hogar (es muy peligroso en un incendio lento).

Altamente tóxico para los animales. Es 200 veces más afín por el hemoglobina que el oxígeno y forma carboxihemoglobina. Causa muertes accidentales cada año.

En los tubos de escape se utilizan catalizadores para su eliminación.

Durante su proceso de lenta oxidación en la atmósfera contribuye a la formación de ozono.

---

<sup>2</sup> Para una análisis de la situación (2013) de la contaminación atmosférica en Europa ver "[air quality in Europe – 2013 report](#)" European Environment Agency. Ver las páginas 5 a 15 donde se expone un resumen.

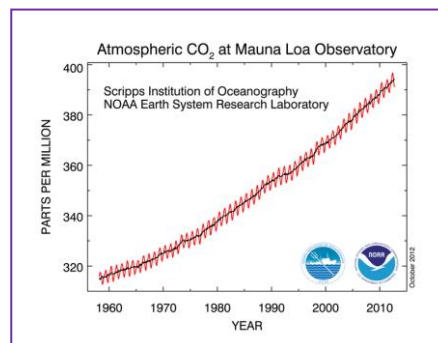
## Dióxido de carbono. CO<sub>2</sub>



Responsable del efecto invernadero natural.

Ha habido variaciones naturales en su nivel a lo largo de los tiempos geológicos por causas diversas (emisiones volcánicas, u otras desconocidas).

**Ha pasado de 320 ppm en los años 50 del siglo XX a más de 395 ppm en la actualidad<sup>3</sup>.**



La temperatura media del planeta ha aumentado 0.5°C en el siglo XX.

Produce Cambios climáticos en diferentes zonas: inadaptación de cultivos, extensión de plagas, inadecuación de infraestructuras, descoloca la cultura agrícola.

Subida del nivel del mar donde vive más de la mitad de la población del planeta. Zonas inhabitables, migraciones, conflictos. Si desaparece todo el hielo ártico incluida Groenlandia: 7m; si desaparece el antártico 62 m de subida del nivel del mar.

Acidificación de los océanos por la disolución del dióxido de carbono en el agua y el consiguiente desplazamiento del equilibrio químico. Entre otras cosas, afecta a la formación de exoesqueletos de todos los animales con concha que se debilita y se vuelve frágil, o al desarrollo de larvas de la mayoría de las especies marinas y al crecimiento del plancton.

Debería ser una prioridad absoluta el control y reducción de las emisiones.

## Metano. CH<sub>4</sub>

Se genera por descomposición de materia orgánica en condiciones anaerobias (suelos encharcados por ejemplo).

Otra fuente más importante son los escapes naturales o accidentales de yacimientos y explotaciones petrolíferas o de gas natural.<sup>4</sup>

Aún peor, se está liberando en grandes cantidades del permafrost que se deshuela en la Tundra y fondos oceánicos árticos someros debido al aumento de la actividad metabólica bacteriana descomponedora en estas zonas.

<sup>3</sup> En 2013 la estación de referencia de Mauna-Loa (Hawaii) ha alcanzado por primera vez en la Historia registros de 400 ppm en el invierno.

<sup>4</sup> El gas natural es metano en casi un 100%.



Muy potente agente de efecto invernadero (más de 20 veces del que produce el dióxido de carbono aunque tiene una concentración unas 200 veces inferior). Por “suerte” el tiempo de permanencia en la atmósfera es de unos 10 años.

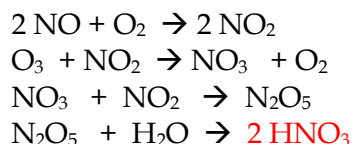
Contribuye a la formación de ozono troposférico.

### Óxidos de nitrógeno. $N_xO$

Existen varios tipos de óxidos de nitrógeno.

El más peligroso es el  $NO_2$  que proviene de la combustión de hidrocarburos (especialmente en vehículos diésel), y la fabricación de fertilizantes. Olor asfixiante, color pardo rojizo. Tóxico, irritante de las vías respiratorias, disminuye la función pulmonar.

Dicho óxido sufre reacciones fotoquímicas secundarias:



Lo que constituye lluvia ácida ( el 30 % es por este motivo).

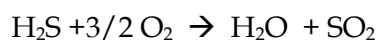
Además contribuye a la formación de partículas (PM) y de ozono.

Produce corrosión de metales y rocas, acidificación y eutrofización de suelos y aguas.

Es difícil controlar su emisión ya que el aire que entra en los motores está formado en un 78% por nitrógeno.

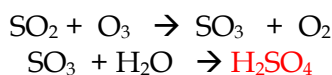
### Óxidos de azufre. $SO_x$

Aparece de forma natural por la oxidación del ácido sulfhídrico por parte de bacterias quimiosintéticas.



El antrópico por combustión de combustibles con azufre (carbón fundamentalmente).

En la atmósfera reacciona secundariamente del siguiente modo:



Da lugar a lluvia ácida (*acid rain*) ( 70% de la misma tiene este origen).

Acidifica las aguas y el suelo, mata la vegetación.  
Corroe metales y rocas afectando a las infraestructuras y al arte.

Es el responsable del **Smog** sulfuroso o (londinense). Se acompaña de partículas en suspensión, hollín. Se ve favorecido en condiciones de alta humedad y frío.

Reacciona con materiales calizos: escultura, arquitectura (fachadas de catedrales, por ejemplo).

Se ha reducido notablemente al disminuir notablemente el uso del carbón en las calefacciones en Europa debido a las políticas de protección medioambiental en occidente, por el contrario se ha producido el hundimiento de la minería del carbón. China lo usa masivamente (la contaminación no conoce fronteras).

### Otros Hidrocarburos (COVs: compuestos orgánicos volátiles)<sup>5</sup>.

Aparece de forma natural:

Putrefacción,  
Evaporación de resinas (terpenos),  
Escapes de depósitos de gas, petróleo, etc.

Antrópico:

Refinerías.  
Evaporación de disolventes de lacas, pinturas, etc.

Participan activamente en la formación de ozono troposférico (un potentísimo oxidante) que propicia la formación de ácido nítrico y sulfúrico a partir de los **óxidos** en presencia de luz (smog fotoquímico), así como otros : **DIOXINAS** (potencialmente cancerígenas); **PAN** (nitrato de peroxiacetileno ) PNN, NPbz, etc. (contaminantes secundarios) que son tóxicos e irritantes.

Podemos incluir aquí los **CFCs** responsables del debilitamiento de la capa de ozono estratosférico.

El **smog fotoquímico** se ve favorecido por las altas temperaturas, las altas radiaciones en los días largos del verano y el ozono. Típico de Los Ángeles y otras ciudades similares.

---

<sup>5</sup> Suelen excluir al metano (COVNM, compuestos orgánicos volátiles No metano, NMVOC, por sus siglas en inglés).



## Ozono troposférico. O<sub>3</sub>

Originado de forma fotoquímica por luz UV + óxidos de nitrógeno e hidrocarburos. Esto da lugar a reacciones química y formación de contaminantes secundarios.

Fuertemente oxidante, irritante.

Alcanza máximos en verano en horas de sol (días largos y soleados) y cae su concentración por la noche.

Su dispersión o concentración depende de las condiciones meteorológicas locales (vientos, calmas e islas térmicas).

Hay ordenanzas municipales referidas a la prohibiciones de circulación o del horario de las calefacciones cuando se superan determinados umbrales de contaminantes químicos, entre ellos el ozono troposférico.

## Partículas.

Aparecen de forma natural:

- Sal a partir de gotas de agua salada.
- Polvo de zonas áridas.
- Erupciones volcánicas.

Antrópicos:

- Los más peligrosos los de la industria (metales pesados) y las minas (polvo).
- El hollín de la combustión de carbón, madera e incluso derivados del petróleo generado en los motores

Su medición se suele dividir en tres grupos según el diámetro de las mismas:

- Polvo :> 20 micras
- PM10: entre 2.5 y 10 micras.
- PM2.5 < 2.5 micras (penetran más profundamente en el aparato respiratorio).

Forman gotas como núcleos de condensación sobre los que se depositan otros muchos compuestos de los que hemos comentado.

Se depositan sobre las superficies de hielo oscureciéndolas y facilitando que absorban más calor (reduciendo el albedo) lo cual acelera la fusión.

Obstruyen superficies de intercambios en plantas y pulmones (silicosis).

Corrosión de superficies (pintura de coches, por ejemplo).

## Metales pesados.

Emitidos en procesos de combustión e industriales, localizándose generalmente unidos a partículas (PM), precipitan y se acumulan en suelos y sedimento. Se incorporan a las cadena tróficas por un proceso de bioacumulación al no poder ser depurados por los organismos, lo que empeora cuando se escala en las cadenas tróficas.

Se consideran así: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Mercurio (**Hg**), Niquel (Ni) y Plomo (**Pb**). Pueden causar graves daños a la salud fisiológicos y psiquiátricos.

### 2.3 Contaminantes biológicos:

Esporas de microorganismos.

Heces de ácaros del polvo que producen alergias.

Polen:

Generado principalmente por plantas anemógamas: Olivo, gramíneas, cupresáceas, urticáceas. Producen alergias.

Información sobre calendarios de polen en:

<http://www.polenes.com/concentraciones.html>.

## 3. Factores que influyen en la dispersión de los contaminantes.

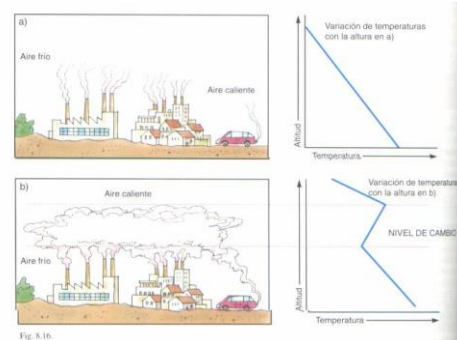
Las condiciones atmosféricas locales contribuyen a que los contaminantes se dispersen o permanezcan en el mismo lugar en incremento progresivo: condiciones climatológicas, los vientos dominantes, la orografía.

Algunas de estas circunstancias particulares **LOCALES**:

### 3.1 Inversiones térmicas.

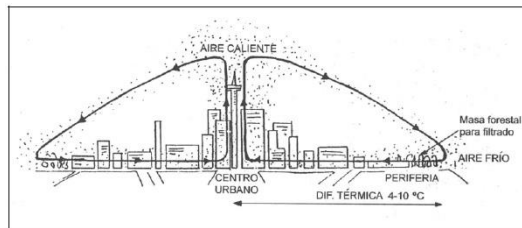
En las noches largas el aire frío de zonas altas se desliza hacia el interior de los valles desplazando aire caliente hacia arriba. Al amanecer y primeras horas del día los gases emitidos encuentran serias dificultades para subir y permanecen pegados al suelo.

Vease como ejemplo en miniatura lo que sucede en Cuenca en otoño e invierno.



### 3.2 Islas térmicas y nieblas fotoquímicas.

El suelo de cemento y asfalto de las grandes ciudades se calienta más que la superficie de los alrededores, sumado al calor emitido por industrias, calefacciones y vehículos hacen que el aire de la ciudad se caliente y tienda a ascender succionando aire de los alrededores que introducen la contaminación de las industrias de alrededor. En situaciones de estabilidad (GVT poco acentuados) este aire recircula constantemente dentro de la ciudad. La ausencia de nubes facilita durante el día la acción de la luz UV que genera ozono troposférico y las reacciones fotoquímicas vistas con anterioridad que dan lugar a contaminantes secundarios propios del smog fotoquímico.



11

### 3.3 Brisas marinas.

Durante el día la tierra se calienta más que el mar, el aire sobre la tierra hace ascender el aire lo que genera una brisa desde el mar hacia tierra. En la noche sucede lo contrario y la brisa invierte la dirección.

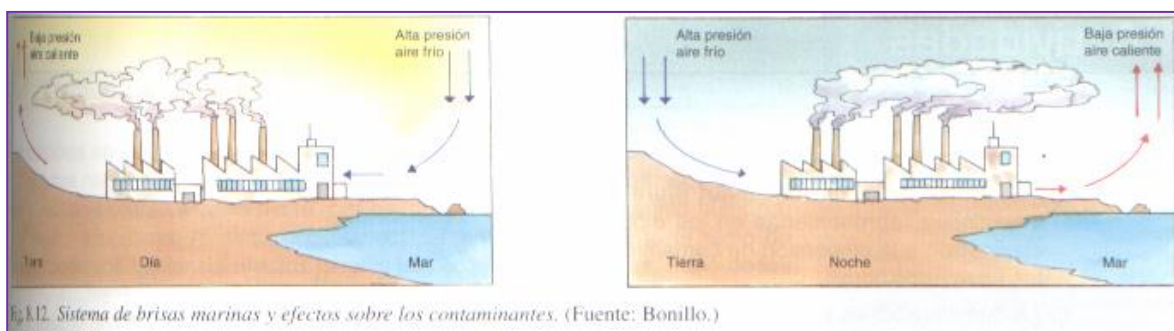


Fig. 112. Sistema de brisas marinas y efectos sobre los contaminantes. (Fuente: Bonillo.)

## 4. Efectos de la contaminación atmosférica.

### FENOMENOS A ESCALA REGIONAL.

#### 4.1 La lluvia ácida:

Repasar el origen, visto más arriba (óxidos de nitrógeno y azufre).

Consecuencias:

- Acidificación de aguas: ríos, embalses, etc.
- Debilita las plantas, reduce la biodiversidad.
- Facilita la disolución y lavado (lixiviación) de metales pesados que pasan a las cadenas tróficas.
- Corroe materiales: caliza + ácido sulfúrico da sulfato de calcio mas dióxido de carbono más agua.

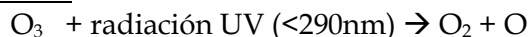
## PROBLEMAS A ESCALA GLOBAL.

### 4.2 Debilitamiento de la capa de Ozono. ("agujero" de la capa de ozono).

#### Formación:

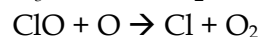
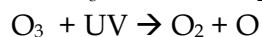
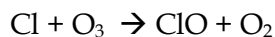


#### Destrucción



#### Se absorbe UV al formar y al destruir.

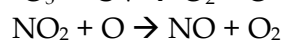
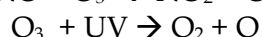
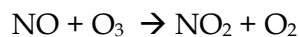
Acción de los CFC<sup>i</sup> (freón), presentes en propelentes y en circuitos de refrigeración. Libera Cl con los UV y el cloro suelto en la estratosfera...



En definitiva: en presencia de cloro y UV destrucción del ozono.

El Protocolo de Montreal (1987) inició el proceso de prohibición del uso de estos compuestos a nivel mundial. Los CFCs tienen una vida muy larga y una enorme capacidad de destrucción. Hoy han sido sustituidos por HFCs sin esta característica pero que han resultado tener un gran efecto invernadero. Se buscan sustitutos.

Acción similar la realizan los óxidos de nitrógeno.



Fuentes de óxidos de nitrógeno estratosférico:

Vuelos estratosféricos.

Abuso de fertilizantes.

Pruebas nucleares en la atmósfera.

Consecuencias de la destrucción de la capa de Ozono.

Pérdidas de productividad de las plantas y fitoplancton.

Cáncer de piel, desarrollo de cataratas en los ojos.

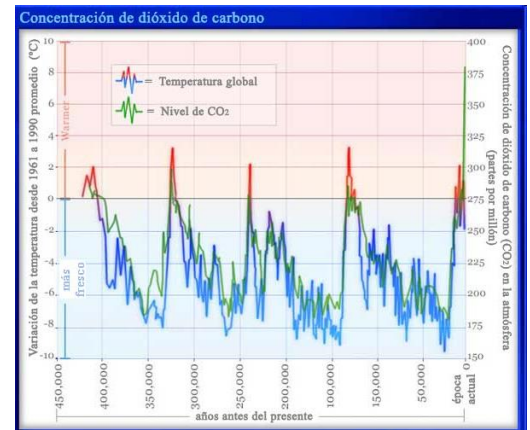
### 4.3 Efecto invernadero: El calentamiento global.

Ya comentado en la contaminación química.

El efecto invernadero natural mantiene el planeta a  $+15^{\circ}\text{C}$ , cuando la temperatura del planeta sin este efecto sería  $-15^{\circ}\text{C}$ .

Los gases de efecto invernadero: dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno, HFCs y otros están provocando un calentamiento global.

En la actualidad la Tierra absorbe más calor del que emite.



#### Consecuencias:

- Fusión de hielos. Disminución del albedo por la desaparición del hielo.
- Subida del nivel del mar y pérdida de territorio habitable y cultivable. Desplazamiento de población con los consecuentes conflictos geopolíticos.
- Acidificación de los océanos. Pérdida de productividad.
- Desequilibrios en ecosistemas: migraciones a destiempo o ausencia de las mismas. Desfases en las cadenas tróficas cuando el nacimiento de las crías no se corresponde con el máximo de la población de sus presas.
- Fusión del permafrost: liberación de más CO<sub>2</sub> y metano.
- Cambios en los hábitos agrícolas y comerciales.
- Disponibilidad de agua potable.

#### Medidas:

- Pensar a largo plazo.
- Desarrollo de innovaciones tecnológicas que reduzcan la dependencia hidrocarburos.
- Educación para el control del crecimiento de la población.
- Cambios de estilos de vida.
- Conservación y cuidado de bosques y vida marina.
- Compromisos internacionales sólidos.
- Equidad internacional.
- Concienciación ciudadana y compromiso social y personal.
- 
-

## 5. Indicadores biológicos para medir la calidad del aire.

Los líquenes son los más usados como bioindicadores por su sensibilidad a compuestos químicos como los ácidos sulfúrico, nítrico, etc. Las zonas contaminadas carecen de ellos.

Las plantas detectan cambios climáticos a largo plazo. Desplazamiento altitudinal y latitudinal de especies, desaparición de otras, cambios en floración o periodos de brote y caída de las hojas. Cambios en los periodos de cría de los animales.

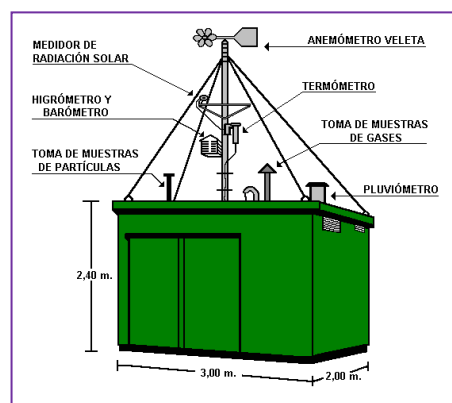
## 6. Instrumentos mecánicos de medida de la contaminación.

Estaciones de medición en las grandes ciudades son sensores específicos y transmisión de datos en tiempo real.

### PREVENCIÓN Y CORRECCIÓN.

A lo largo del tema se han ido introduciendo en los diferentes epígrafes las medidas más importantes. Otras muchas son de sentido común aunque choquen con intereses económicos y políticos que impiden o dificultan su implantación. En cualquier solución han de tenerse en cuenta todos los intereses, no sólo los ecológicos, sino también las implicaciones económicas (costes), la capacidad tecnológica para sustituir la fuente contaminante o reducir las emisiones, sociales (puestos de trabajo), etc.

En esta [web](#) podéis ver información sobre los valores registrados por las estaciones de vigilancia de la Comunidad de Castilla-La Mancha.



### Valores límite de contaminantes en Castilla-La Mancha

Fuente: <http://pagina.jccm.es/medioambiente/rvca/calidad/normativa.htm>

Contaminante	Tipo de valor	Cálculo	Valor
<b>Ozono</b>	Objetivo de protección de la salud	Máxima diaria de media octohoraria móvil	120 µg/m <sup>3</sup> (25 sup. año) (promedio de 3 años)
	Objetivo de protección de la vegetación	AOT40 (entre mayo y julio)	18.000 µg/m <sup>3</sup> (promedio de 5 años)
	Objetivo de protección de la salud a largo plazo	Máxima diaria de media octohoraria móvil en un año civil	120 µg/m <sup>3</sup>
	Objetivo de protección de la vegetación a largo plazo	AOT40 (entre mayo y julio)	6.000 µg/m <sup>3</sup>
	Umbral de información	Valor horario	180 µg/m <sup>3</sup>
	Umbral de alerta	Valor horario	240 µg/m <sup>3</sup>
<b>SO<sub>2</sub></b>	Valor límite	Valor horario	350 µg/m <sup>3</sup> (24 sup. año)
		Promedio diario	125 µg/m <sup>3</sup> (3 sup. año)
	Umbral de alerta	Valor horario	500 µg/m <sup>3</sup> (3 horas consecutivas)
	Nivel crítico de protección de la vegetación	Promedio anual e invernal (1 de octubre a 31 de marzo)	20 µg/m <sup>3</sup>
<b>NO<sub>2</sub></b>	Valor límite	Valor horario	200 µg/m <sup>3</sup> (18 sup. año)
		Promedio anual	40 µg/m <sup>3</sup>
	Umbral de alerta	Valor horario	400 µg/m <sup>3</sup> (3 horas consecutivas)
	Nivel crítico protección de la vegetación	Promedio anual	30 µg/m <sup>3</sup> (NO <sub>x</sub> )
<b>Benceno</b>	Valor límite	Promedio anual	5 µg/m <sup>3</sup>
<b>CO</b>	Valor límite	Máxima diaria de media octohoraria móvil	10 mg/m <sup>3</sup>
<b>Plomo</b>	Valor límite	Promedio anual	0,5 µg/m <sup>3</sup>
<b>PM<sub>10</sub></b>	Valor límite	Promedio diario	50 µg/m <sup>3</sup> (35 sup. año)
		Promedio anual	40 µg/m <sup>3</sup>
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	Valor objetivo	Promedio anual	25 µg/m <sup>3</sup>
	Valor límite	Promedio anual	25 µg/m <sup>3</sup> (20% de margen de tolerancia hasta enero de 2015)

<sup>i</sup> Los primeros refrigerantes fueron los CFCs, no tóxicos y químicamente inertes, pero que se descubrió destruían la capa de ozono. El protocolo de Montreal (firmado en 1987) restringió su uso. Se sustituyeron por HFC (hidrofluorocarbano) que no afectan al ozono pero son muy potentes agentes de efecto invernadero. Actualmente se buscan sustitutos que funcionen con sólidos con efecto magneto-calórico (Ni-Mn-Zn) o barocalórico. (Ver Refrigeración respetuosa con el medio ambiente, en investigación y ciencia, febrero 2011, pgs: 12-13.