

SALUD AMBIENTAL Y CALIDAD DE VIDA URBANA



Educación para el Desarrollo Sostenible
Calidad del aire



**Ayuntamiento de Madrid.
Dirección General de Sostenibilidad y Agenda 21.
Área de Gobierno de Medio Ambiente y Servicios a la Ciudad.**

**Autores:
Julio Díaz Jiménez
Cristina Linares Gil**

**Diseño:
Arantxa Valdizán García**

MADRID 2005



SALUD AMBIENTAL Y CALIDAD DE VIDA URBANA



1

Conceptos básicos relacionados con el supuesto práctico de contaminación atmosférica química.

1. Conceptos generales sobre la atmósfera.
2. Definición de contaminación atmosférica.
3. Efecto invernadero y cambio climático.

2

Conceptos básicos relacionados con el supuesto práctico de contaminación energética.

4. Conceptos generales sobre contaminación acústica.
5. El espectro electromagnético. Radiaciones ionizantes y no ionizantes.

3

Conceptos básicos sobre el agujero de ozono estratosférico

6. El ozono estratosférico.

í n d

4

Conceptos básicos
sobre la metodología de
la evaluación del impacto
ambiental

5

Supuesto práctico sobre
contaminación atmosférica
química

6

Supuesto práctico sobre
contaminación energética

7. El procedimiento del E.I.A.

8. Enunciado.

10. Enunciado.

9. Resolución

11. Resolución

i

c

e

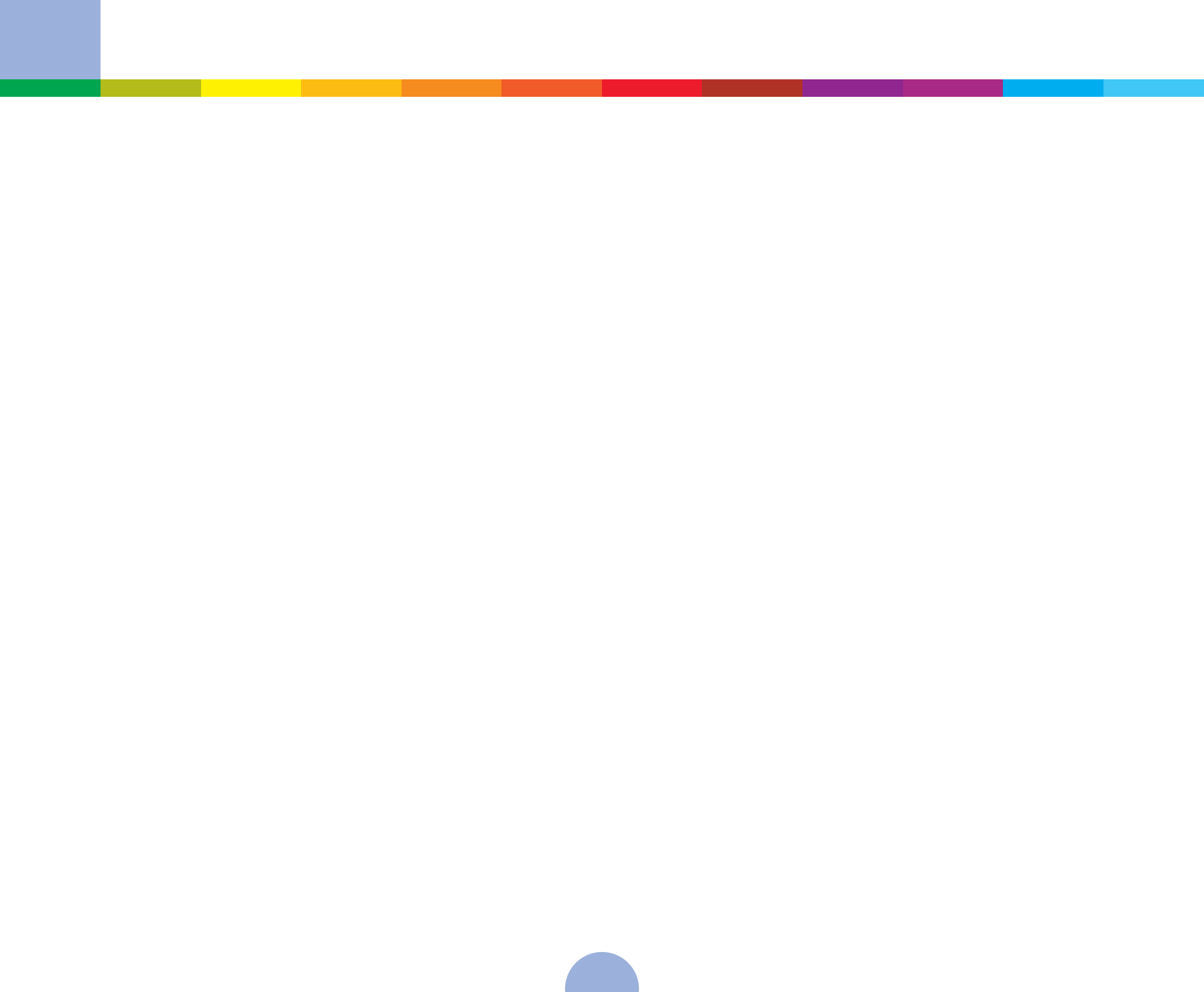




1 Capítulo

**CONCEPTOS BÁSICOS
RELACIONADOS CON EL SUPUESTO PRÁCTICO
DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA QUÍMICA.**





I. CONCEPTOS BÁSICOS RELACIONADOS CON EL SUPUESTO PRÁCTICO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

1. Conceptos generales sobre la atmósfera.

1.1 Capas de la atmósfera.

La atmósfera es una mezcla de gases (disolución) que rodea un objeto celeste (como la Tierra) cuando éste cuenta con un campo gravitatorio lo suficientemente grande como para impedir que escapen.

La atmósfera terrestre está constituida por los siguientes gases:

(% en volumen)

N ₂	O ₂	Ar	CO ₂	H ₂ O	H ₂	O ₃	CH ₄	CO	He	Ne	Kr	Xe
78	21	0.9	0.03	Trazas								

El aire, gradualmente, va desapareciendo de la atmósfera según aumenta la altitud

La atmósfera se divide en varios niveles.

> Exosfera	130 – 9.600 Km
> Ionosfera	80 – 130 Km
> Mesosfera	48 – 80 Km
> Estratosfera	16 – 48 Km
> Troposfera	0 – 16 Km

La primera capa de la atmósfera es donde se realizan las actividades humanas, de ella quizá lo más importante es el descenso de su temperatura con la altura.

¿Pero por qué disminuye la temperatura con la altura en la troposfera.?

Prácticamente toda la energía llega a la Tierra proviene del Sol. Como se sabe el Sol es una estrella cuya superficie se encuentra a una temperatura de unos 6000 °C . Esta energía solar se transmite a través de **ondas electromagnéticas** de diferentes longitudes de onda y de diferentes energías, constituyendo el espectro electromagnético que abarca desde los rayos gamma hasta radiaciones menos energéticas como se verá más adelante.

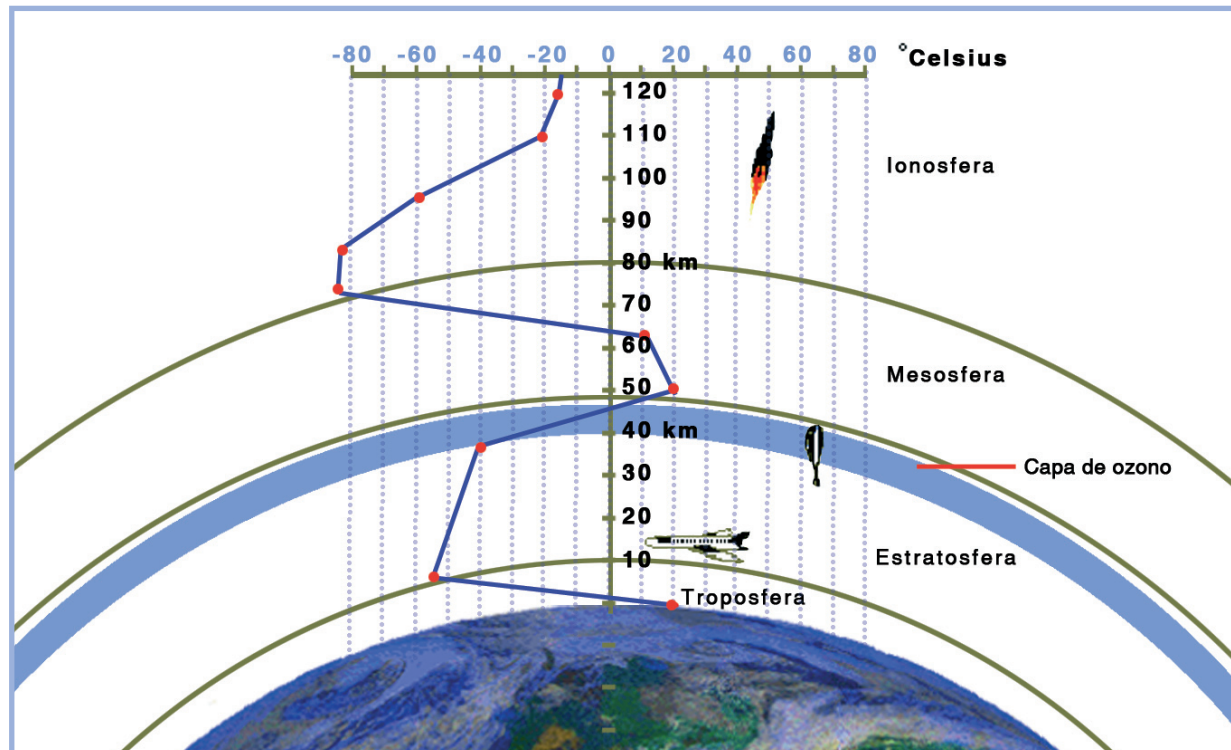


Figura 1.
Capas de la atmósfera.

La relación entre la energía y la longitud de onda viene dada por la ley de Planck que puede escribirse de la forma $E = h c/\lambda$ en la que E es la energía de la radiación, h es la denominada constante de Planck y λ es la longitud de onda. De modo que las radiaciones de menor longitud de onda rayos γ (10^{-11} y 10^{-9} m) y rayos X (10^{-9} y 10^{-7} m) son los más energéticos

y las ondas de radio (1m hasta varios km) las menos energéticas, siendo la mayor parte de la energía recibida en el visible, correspondiendo al color rojo-amarillo.

De toda la energía que emite el Sol una **parte es retenida** por la atmósfera terrestre (ionosfera y estratosfera) y otra **parte es devuelta** a la atmósfera, reflejándose por nubes, polvo, hielo, nieve, etc cerca de un 30 %, lo que constituye el albedo. La energía que llega a la Tierra la calienta a unos 15 °C y esta emite en una longitud de onda que corresponde al infrarrojo, parte de esta energía, es absorbida por el vapor de agua y el CO₂, como se verá más adelante.

Pero quizá lo más importante es que en la troposfera en gran medida **el aire es transparente para la radiación solar** y se enfría y calienta en contacto con el suelo. De modo que cuanto más lejos se esté del foco cálido menor será la temperatura, por eso la temperatura disminuye con la altura dentro de la troposfera. Esta disminución de la temperatura con la altura va a ser fundamental a la hora de comprender los conceptos de estabilidad e inestabilidad atmosférica.

1.2

Criterios de estabilidad de estratificación atmosférica

Basándonos en la premisa anterior de que la temperatura del aire disminuye con la altura, hay dos coeficientes que se utilizan para clasificar la estabilidad de estratificación de la atmósfera.

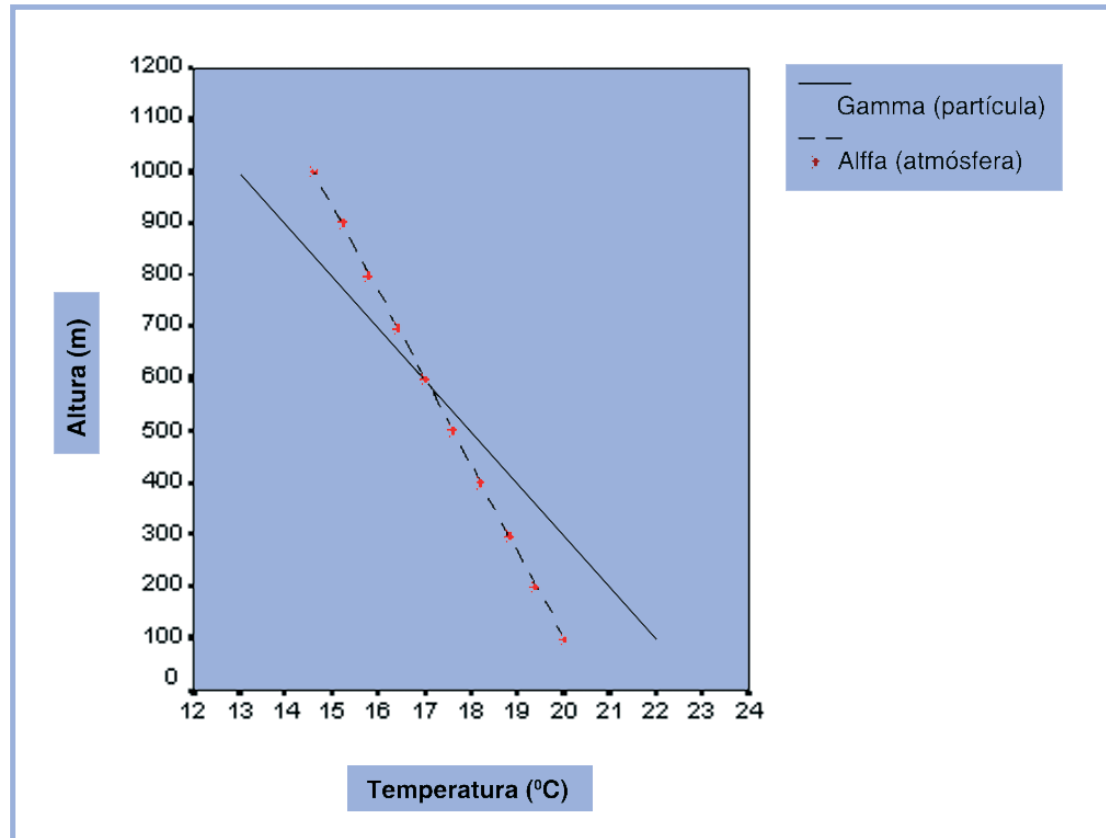
El primero de ellos es el denominado **gradiente adiabático del aire seco (GAS)**, que se representa por γ , y es un valor prácticamente constante y equivale a 1°C/102 m y representa el enfriamiento de una burbuja al ascender una altura de 102m. Pero ocurre que el descenso en la práctica suele ser menor de 1°C/102 m, debido al contacto del aire y es de 0,65°C/100m. A esto se le denomina **gradiente térmico vertical de la atmósfera /GTV).**

Por otro lado se encuentra el estado real de la atmósfera, que se denomina **enfriamiento geométrico**, viene representado por la letra α y varía de un día a otro y de un instante a otro según los valores de α , hablaremos de las diferentes condiciones de estabilidad de estratificación de la atmósfera.

> **Estabilidad de estratificación.**

Supongamos el estado de la atmósfera de la **figura 2** en la que la línea discontinua corresponde al estado real de la atmósfera y la continua al gradiente adiabático, es decir, al comportamiento de una partícula.

Figura 2.
Estabilidad de estratificación.



Si a la altura de 600 m, donde ambas gráficas coinciden desplazáramos la partícula hacia arriba ocurriría que la partícula (que se mueve por la línea continua) estaría mas fría que la atmósfera y, por tanto, tendería a bajar. Al contrario si la desplazamos hacia abajo, se encontraría mas caliente que la atmósfera y tendería a subir. Este caso en el que **la atmósfera se enfría menos de 1°C/102 m es lo que se denomina estabilidad de estratificación**. Cuando existe estabilidad se dificultan los movimientos verticales atmosféricos. Si en vez de enfriarse la atmósfera menos de 1°C/102 m si no que se calienta con la altura, lo que se denomina inversión térmica, existe una gran estabilidad y prácticamente los movimientos verticales son inexistentes.

> **Inestabilidad de estratificación.**

Consideremos el caso de la **figura 3**, que corresponde a un enfriamiento de la atmósfera superior a $1^{\circ}\text{C}/102\text{m}$.

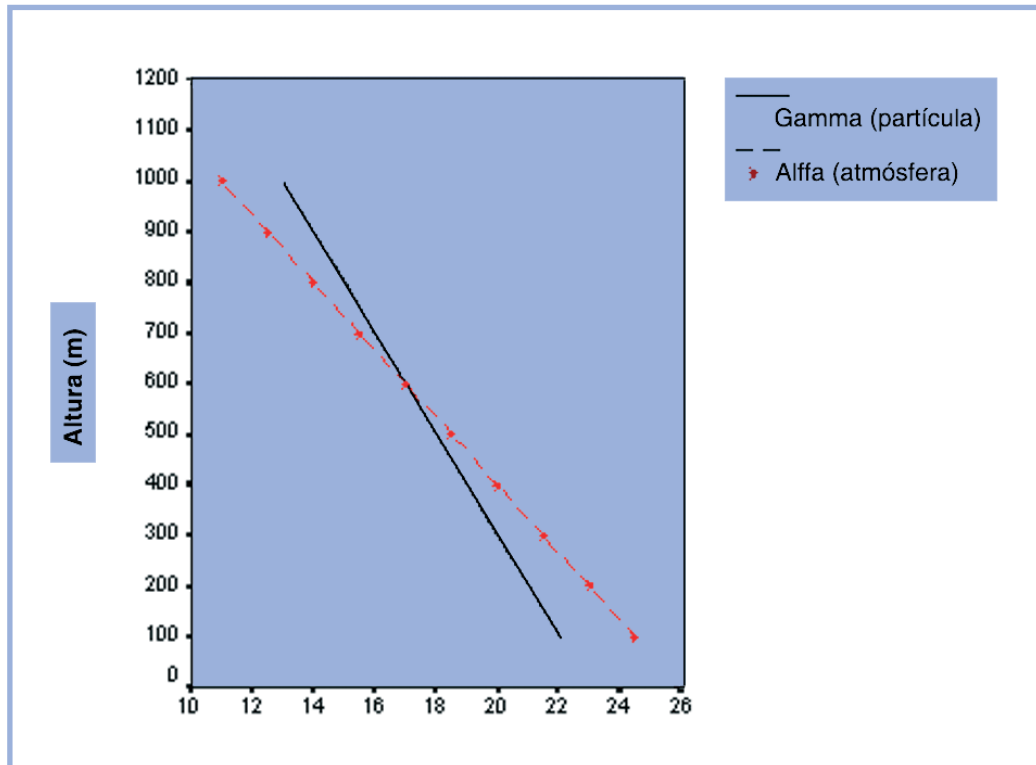


Figura 3.
Inestabilidad de estratificación.

Si a la altura de 600 m, donde ambas gráficas coinciden desplazáramos la partícula hacia arriba ocurriría que la partícula (que se mueve por la línea continua) estaría más caliente que la atmósfera y, por tanto, tendería a seguir subiendo. Al contrario si la desplazamos hacia abajo, se encontraría más fría que la atmósfera y tendería a bajar. Este caso en el que **la atmósfera se enfría más de $1^{\circ}\text{C}/102\text{ m}$ es lo que se denomina inestabilidad de estratificación**. Cuando existe inestabilidad los movimientos verticales atmosféricos se ven favorecidos.

> **Atmósfera neutra.**

Es el caso en el que el enfriamiento de la atmósfera coincide con el gradiente adiabático.

Evidentemente, el estado de la atmósfera puede variar a lo largo del día y según estratos. Es decir, puede ocurrir que a primeras horas de la mañana se produzca inversión y que a medio día esta se rompa, como ocurre en las **figuras 4 y 5**.

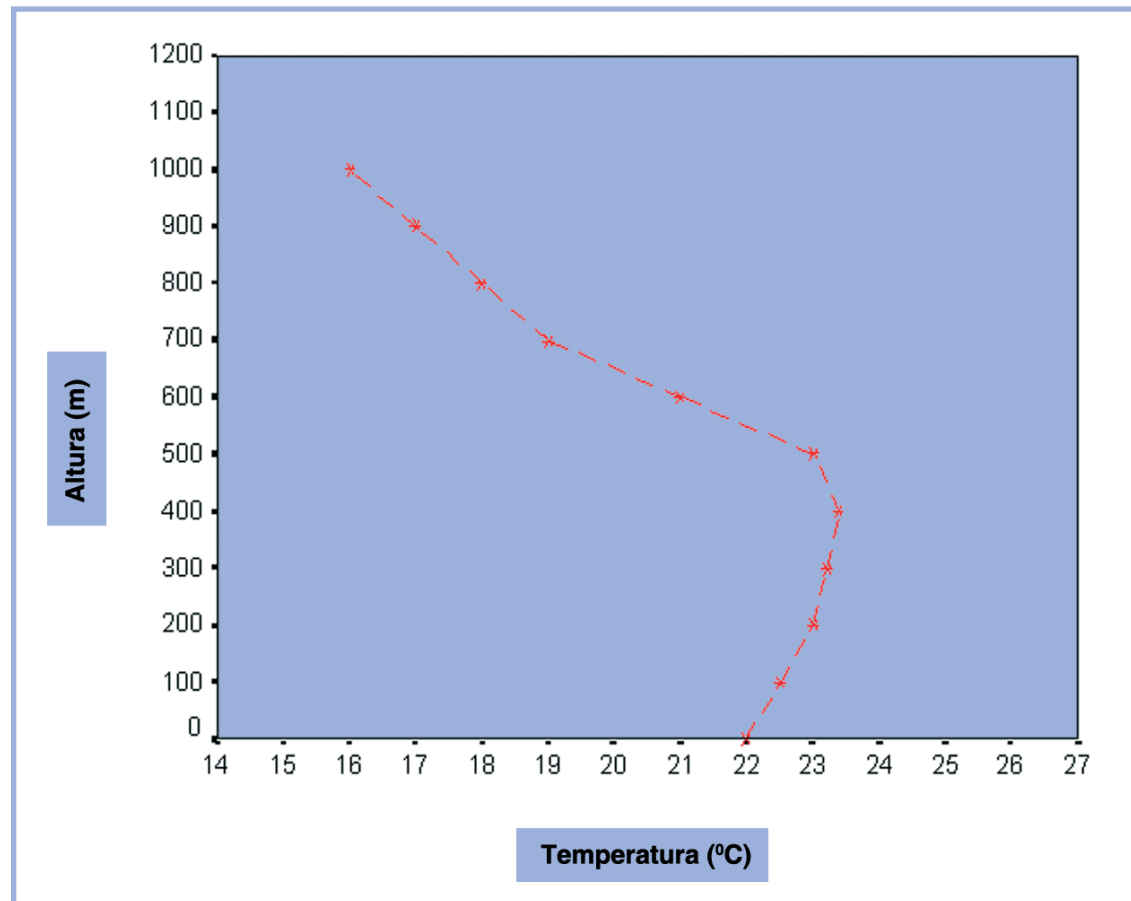


Figura 4.
Perfil de la atmósfera a las 06:00h, con inversión en superficie.

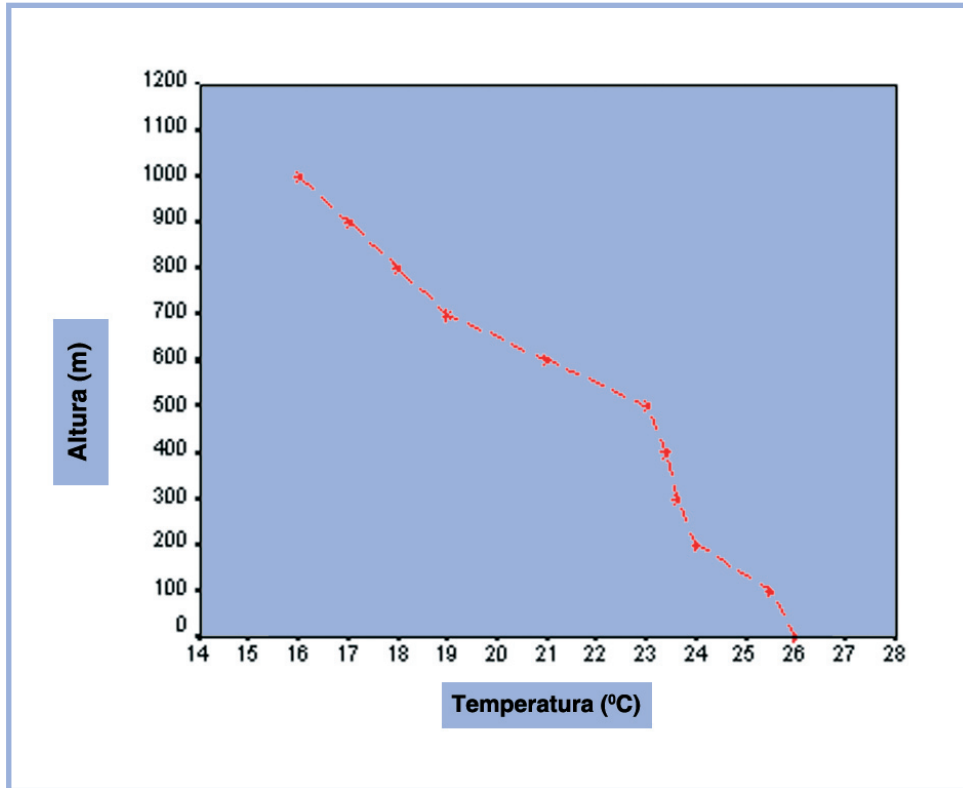


Figura 5.

Perfil de la atmósfera sin inversión a las 14:00 h.

1.3

Comportamiento de la atmósfera a escala sinóptica. Borrascas y anticiclones.

Como se ha citado anteriormente la atmósfera está constituida por gases y, por tanto, ejercen una presión sobre la superficie terrestre, esta presión en condiciones normales y al nivel del mar suele ser de 1013 mb. A las zonas donde la presión es superior a los 1013 mb se les denomina zonas de **alta presión o anticiclones** y las inferiores a 1013 mb se denominan zonas de **baja presión o borrascas**.

En los anticiclones, como son zonas de mayor presión que el ambiente que les rodea, el aire tiende a salir de ellos a nivel del suelo. Como no puede haber vacíos ni acumulación de materia, al salir el aire de los anticiclones éste procede de las capas más altas, es decir, en un **anticiclón** la tendencia es a la existencia de **movimientos descendentes** del aire de las capas superiores. Por tanto, desde el punto de vista de la contaminación atmosférica, en condiciones anticiclónicas suele producirse acumulación de sustancias contaminantes. Por el contrario, en las borrascas al haber menos presión que en los alrededores el aire tiende a entrar, como no puede acumularse, éste asciende. Es por eso que las situaciones de **borrasca** predominan los **movimientos ascendentes** de las masas de aire y son situaciones en las que se favorece la dispersión de contaminantes hacia las capas altas de la atmósfera. En la **figura 6** se muestra este hecho.

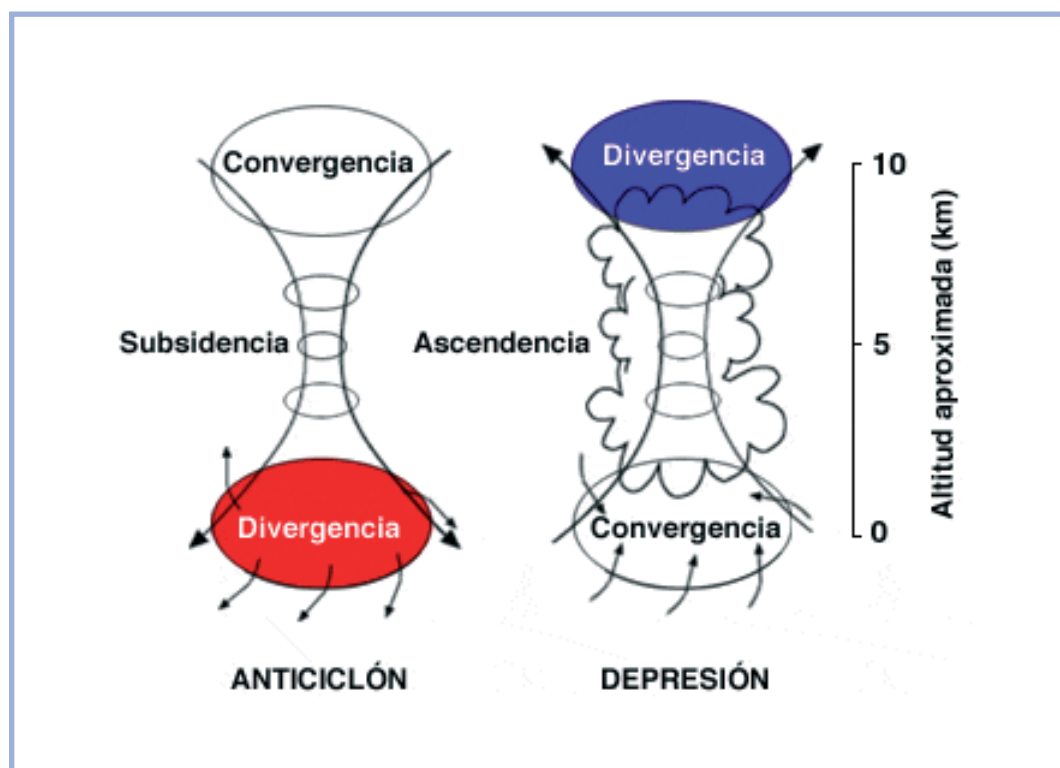


Figura 6.
Estructura de una
borrasca y de un anticiclón.

2

Definición de contaminación atmosférica.

Según la Ley 38/1972 sobre Protección del Medio Ambiente Atmosférico se define la contaminación atmosférica como:

“Presencia en el aire de sustancias o formas de energía que implique riesgo, daño o molestia grave para las personas o bienes de cualquier naturaleza”.

Por tanto la propia definición incluye como contaminantes no sólo a la contaminación química (partículas y gases), si no también a la contaminación física o energética (ruido, ondas electromagnéticas, radiaciones) y a la contaminación biológica (polen).

2.1

Contaminación atmosférica química.

La contaminación atmosférica química puede clasificarse en cuanto a su naturaleza en partículas y gases.

> **Partículas** son pequeñas masas de material sólido o líquido (humos, polvo, cenizas.....). Se distinguen las PST o partículas totales en suspensión, las PM_{10} o partículas de diámetro inferior a 10 micras, las $PM_{2,5}$ partículas de diámetro inferior a 2,5 micras o también denominadas partículas finas y las denominadas partículas ultrafinas de diámetro aún inferior al anterior

> **Gases** son moléculas como el CO, SO_2 , NOx, etc

En cuanto a su origen se clasifican en primarios y secundarios.

Contaminantes Primarios son aquellos que se emiten directamente a la atmósfera por sus fuentes y permanecen en ella con la misma composición con la que fueron emitidos. Por ejemplo SO_2 , PST, NOx, etc son contaminantes primarios

Contaminantes Secundarios son el producto de reacciones químicas que se producen en la atmósfera. Por ejemplo, el ozono troposférico que se forma a partir de precursores como los NOx.

> **Origen de las emisiones de los principales contaminantes**

Los contaminantes pueden tener un origen natural o artificial. A nivel global, es decir de todo el Planeta, el principal foco de emisión es de origen natural, aunque en los países industrializados el 90 % de las emisiones se atribuyen a un origen humano o antropogénico. En la **tabla 1** se muestra los diferentes contaminantes según su origen.

	Origen	Datos de la UE / 1990
Rn	Natural	
CO	Natural	Oxidación atmosférica del CH ₄
	Artificial	Gases de escape de vehículos de motor; algunos procesos industriales.
NO _x	Natural	Descomposición bacteriana de compuestos nitrogenados.
	Artificial	Gases de escape de vehículos de motor; generación de calor y electricidad; ácido nítrico; explosivos; fábricas de fertilizantes.
CO ₂	Natural	Oxidación atmosférica del CH ₄ , Respiración.
	Artificial	Todas las fuentes de combustión. Producción energía eléctrica (37%) y transporte (22%), procesos industriales (19%) Los niveles atmosféricos se han incrementado desde unas 280 ppm hace un siglo a más de 350 ppm en la actualidad; probablemente esta tendencia esté contribuyendo a la generación del efecto invernadero
SO ₂	Natural	Descomposición de materia orgánica.
	Artificial	Combustión de carburantes fósiles para calefacciones e industria (gasoil, carbón con contenido sulfuroso) Producción de energía (71%), industria (15% y transporte (4%)

PST	Natural	Incendios forestales, erupciones volcánicas, viento.
	Artificial	Gases de escape de vehículos de motor; procesos industriales (gasoil, fuel oil); incineración de residuos y calefacciones, compuesto de carbón, nitratos, sulfatos y numerosos metales, como Pb, Cu, Fe y Zn.
HC	Natural	Hidrocarburos no metálicos (incluye etano, etileno, propano, butanos, pentanos, acetileno) Descomposición de materia orgánica.
	Artificial	Vehículos. Gases de escape de vehículos de motor; evaporación de disolventes; procesos industriales; eliminación de residuos sólidos. Reacciona con los óxidos de nitrógeno y la luz solar para formar oxidantes fotoquímicos
Pb	Artificial	Gases de escape de vehículos de motor, antidetonante tetraetil plomo $Pb(C_2 H_5)_4$, fundiciones de plomo; fábricas de baterías. Máximo permitido: $1,5 \mu g/m^3$ en 3 meses; la mayor parte del plomo está contenido en partículas en suspensión

Tabla 1. Clasificación de los principales contaminantes según su origen.

Figura 7.
Emisión de contaminantes primarios a la atmósfera por una fuente fija de origen antropogénico.



Figura 8.
Emisiones de origen natural a la atmósfera.



Una breve descripción de estos compuestos es la que se muestra a continuación.

> ***Partículas en suspensión.***

El término ‘partículas en suspensión’ se refiere a partículas no específicas finamente divididas, en forma líquida o sólida, que son bastante pequeñas como para permanecer en suspensión durante horas y días, siendo capaces de ser transportadas a distancias considerables. Representan una mezcla compleja de sustancias orgánicas e inorgánicas. Existen diferentes denominaciones para describir las partículas dependiendo de la técnica utilizada para su determinación y del tamaño de las mismas. Entre dichos nombres se encuentran: total de partículas en suspensión (TPS), humos negros (‘black smoke’), partículas inhalables o respirables, torácicas. En los últimos años se las prefiere denominar de acuerdo a características más **objetivables, como su diámetro**; partículas con diámetro inferior a $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}), o con diámetro inferior a $2,5\ \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$). Parece ser, que las partículas de menor tamaño serían las principales involucradas en los efectos sobre la salud.

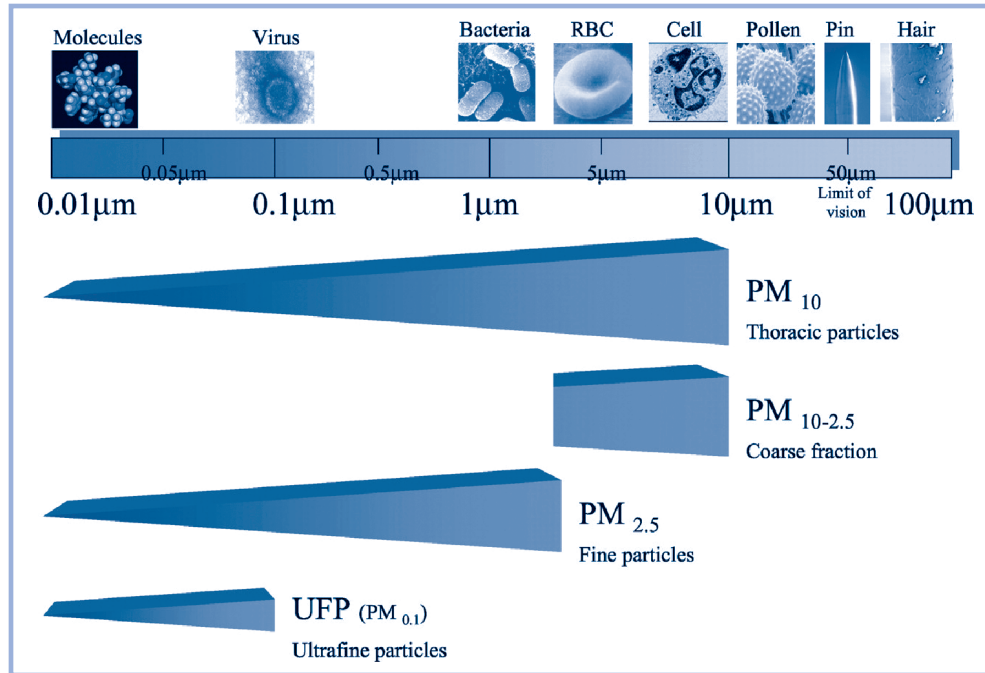


Figura 9.
Clasificación de las partículas según su tamaño.

> **Compuestos de azufre.**

Los principales son el dióxido de azufre (SO_2) producido por la combustión en fuentes fijas (calefacción, industrias) y los sulfatos, a partir de la oxidación atmosférica del SO_2 . Los cambios en el tipo de combustibles usados en Europa Occidental han llevado a una disminución considerable en las emisiones de SO_2 aunque aún se pueden dar altas concentraciones puntuales a nivel local asociadas a emisiones ocasionales.

> **Compuestos de nitrógeno**

Su principal fuente de emisión no natural proviene de los combustibles fósiles utilizados para el transporte, calefacción y generación de energía. La mayoría de combustiones producen monóxido de nitrógeno (NO) que, por procesos de oxidación da lugar al dióxido de nitrógeno (NO_2). Algunas veces los datos se refieren en términos de NO_x , indicando una mezcla de óxidos de nitrógeno.

Densidad de NO₂ troposférico. Envisat. Octubre 2004.

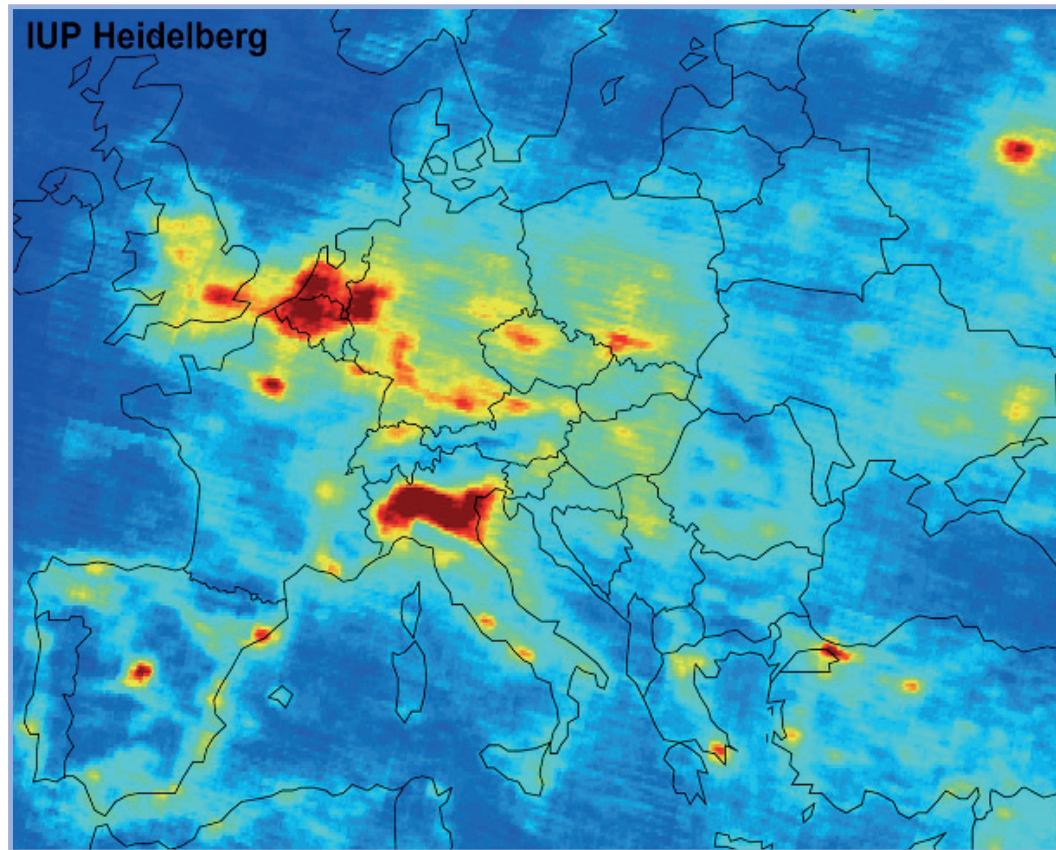


Figura 10.
Niveles de emisión
de NO₂ en Europa

> **Óxidos de carbono**

Fundamentalmente son el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂). Se liberan a la atmósfera como consecuencia de las combustiones incompletas (CO) y completas (CO₂). La fuente principal del CO son los humos procedentes del escape de los vehículos a motor. Por otro lado, el CO₂ es uno de los principales contaminantes responsables del efecto invernadero.

> **Compuestos orgánicos volátiles (COV)**

Los COV son un grupo variado de compuestos presentes en la atmósfera que incluyen un amplio espectro de hidrocarburos como alcanos, alquenos, aromáticos, hidrocarburos, cetonas, alcoholes, ésteres y algunos compuestos clorados. El benceno es un COV aromático que ha recibido mucha atención debido a su carcinogenicidad. Tolueno es un COV que actúa como un importante precursor de ozono.

> **Plomo (Pb)**

Las emisiones de los vehículos a motor son la principal fuente de plomo en el aire, especialmente presente en la partículas de menos de $1\ \mu\text{m}$. En un número importante de vehículos, entre los que se encuentra España, el plomo emitido por los vehículos ha disminuido drásticamente tras la introducción de las gasolinas sin plomo.

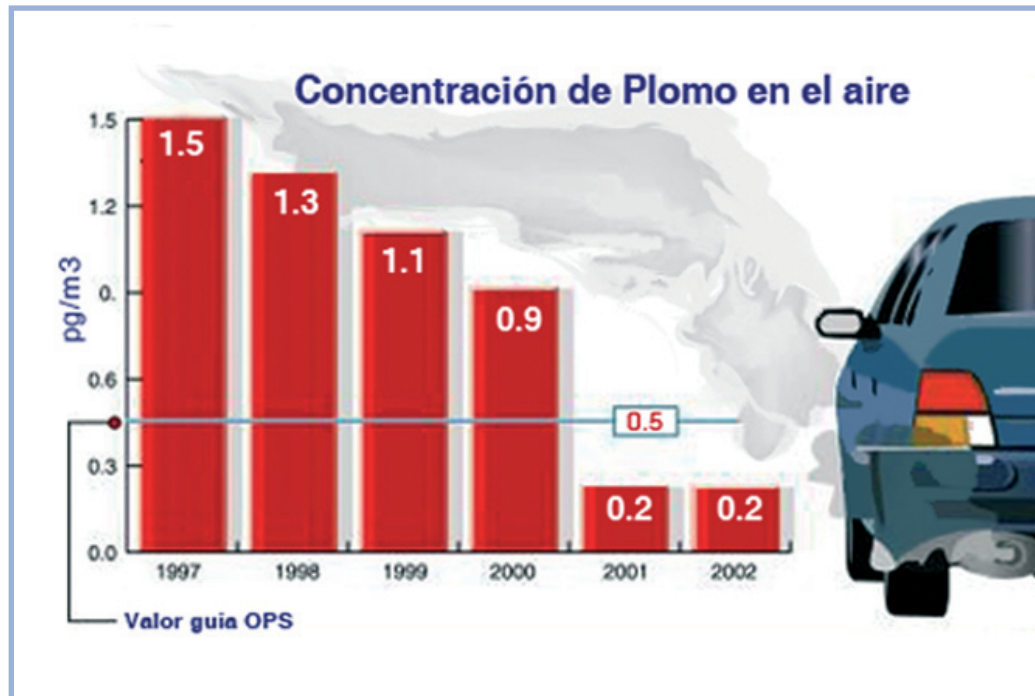


Figura 11.
Disminución de los niveles de inmisión de plomo en los últimos años.

> **Oxidantes fotoquímicos**

Están compuestos por el ozono, los nitratos de peroxiacilo, los aldehídos, resultantes de reacciones químicas entre los hidrocarburos reactivos y los óxidos de nitrógeno bajo el efecto de la luz solar. El **ozono** es, desde el punto de vista toxicológico, el más importante de estos contaminantes. Dado que los contaminantes primarios procedentes de las emisiones de los automóviles reaccionan con él, puede encontrarse a concentraciones considerables incluso en zonas alejadas de las fuentes de emisión, **y son, a menudo, más altos los niveles en los alrededores de las grandes ciudades que en el interior de las mismas.**



Figura 12.
Contaminación
fotoquímica en
una gran ciudad.

En la **tabla 2** se muestra un resumen de sus características.

Contaminante	Formación	Estado físico	Fuentes
Partículas en suspensión (PM): PM ₁₀ , Humos negros.	Primaria y secundaria	Sólido, líquido	Vehículos (sobre todo diesel) Procesos industriales Humo del tabaco
Dióxido de azufre (SO ₂)	Primaria	Gas	Procesos industriales Vehículos
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	Primaria	Gas	Vehículos Estufas y cocinas de gas
Monóxido de carbono (CO)	Primaria	Gas	Vehículos (sobre todo gasolina) Humo de tabaco
Compuestos orgánicos volátiles (VOCs)	Primaria, secundaria	Gas	Vehículos, industria, humo del tabaco
Plomo (Pb)	Primaria	Sólido (partículas finas)	Vehículos, industria
Ozono (O ₃)	Secundaria	Gas	Vehículos (secundario a foto-oxidación de NO _x y compuestos orgánicos volátiles)

PM₁₀: partículas con un diámetro inferior a 10 µm.

NO_x: óxidos de nitrógeno.

Tabla 2. Descripción de los principales contaminantes atmosféricos químicos.

> **Niveles de emisión y de inmisión de contaminantes.**

Emisión: se refiere a la cantidad de sustancia contaminante que vierte a la atmósfera una determinada fuente, suele expresarse en unidad de masa por unidad de tiempo (kg/h, tm/año).

Inmisión: Se refiere a la concentración en la atmósfera de ese contaminante, es decir es lo que se respira o se mide suele expresarse en unidad de masa por unidad de volumen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

A modo de ejemplo, en la **figura 13**, se muestran los niveles de inmisión a lo largo de varios años de los niveles de NOx en la ciudad de Madrid.

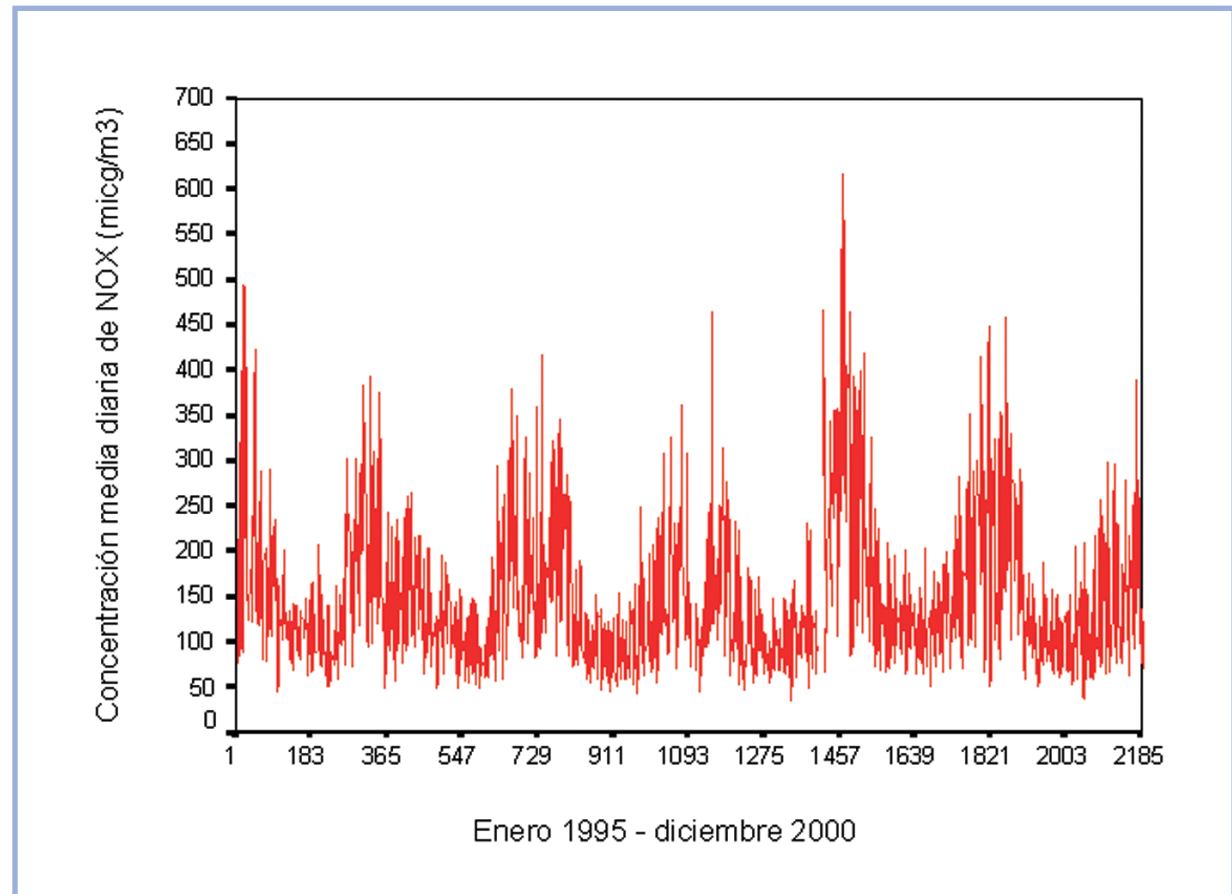


Figura 13.
Niveles de inmisión de los NOx en la ciudad de Madrid.

2.2

El ozono troposférico. Su formación y difusión.

El ozono troposférico puede tener un **origen natural o ser producto de las actividades humanas**. De forma natural, procede de intrusiones del ozono presente en la estratosfera. También puede formarse a partir de las descargas eléctricas de las tormentas, que alteran el oxígeno atmosférico o aparecer a partir de emisiones procedentes de actividades naturales, como la vegetación, los volcanes y las fermentaciones. Pero quizá **la principal fuente del ozono troposférico sea la de origen antropogénico** como contaminante secundario, es decir, no emitido directamente por ninguna fuente, sino producido a partir de otros contaminantes denominados precursores, en presencia de radiación solar.

A comienzos de la década de los 50 del siglo pasado fueron identificados los óxidos de nitrógeno (NOx) y los compuestos orgánicos volátiles (C.O.V.), especialmente los hidrocarburos, como los dos precursores químicos clave en la formación del ozono troposférico.

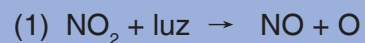
Aunque el 66 % de los NOx tienen un origen natural (emisión de los suelos, fenómenos tormentosos, emisiones desde el mar, etc), es evidente que en la atmósfera urbana los principales focos de emisión son de origen antrópico y se refieren a la combustión de materiales orgánicos tanto en fuentes estacionarias (calefacciones, procesos industriales y centrales térmicas) como en fuentes móviles (vehículos de gasolina y gasoil).

Los C.O.V., fundamentalmente constituidos por hidrocarburos, también pueden tener un origen natural y otro antrópico. En el primero destacan como emisores los robles y los sicomoros, también pueden emitirse desde los pantanos o desde el océano. Entre los emisores antrópicos destacan las emisiones procedentes por la descomposición térmica de productos orgánicos, fundamentalmente por combustión incompleta de éstos.

También es importante el proceso de formación del ozono a partir de compuestos inorgánicos como el CO, muy presente en atmósferas contaminadas.

> La contaminación fotoquímica.

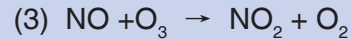
De manera simplificada, el proceso de producción del ozono se inicia al reaccionar los óxidos de nitrógeno con luz solar de longitud de onda inferior a 400 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), según el siguiente proceso:



El oxígeno atómico así formado reacciona rápidamente con el oxígeno del aire para formar ozono



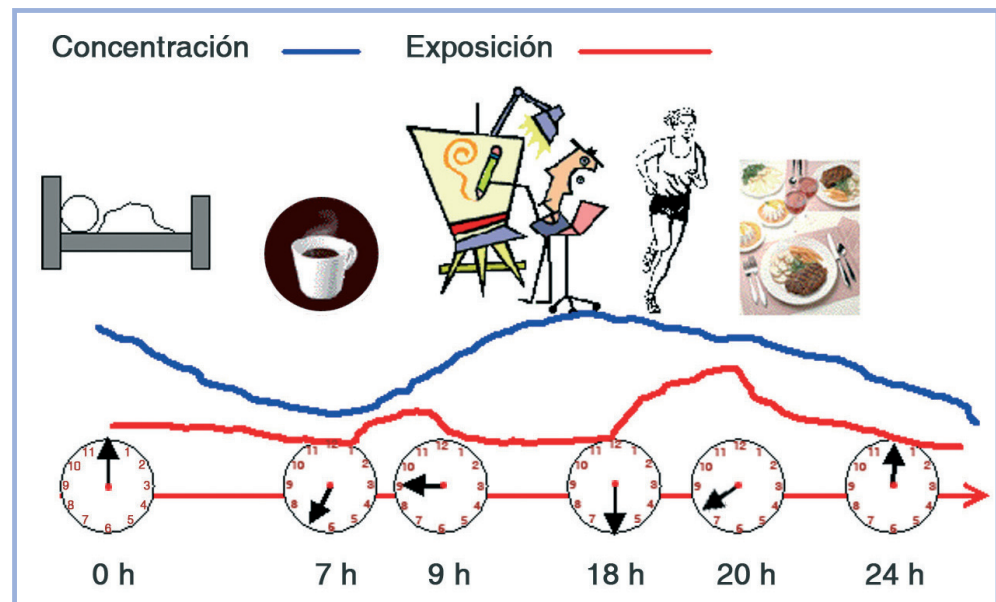
Para más tarde destruirse según la reacción:



Las reacciones anteriores tienen varias implicaciones, en primer lugar la necesidad de luz solar hace que a escala temporal de un día el proceso se inicie a primera hora de la mañana, alcanzándose el **máximo de producción de O₃ cuando esta insolación es máxima, es decir, durante la tarde** y las concentraciones comienzan a decaer al anochecer, como puede observarse en la **figura 14**. En cuanto al ciclo anual los factores meteorológicos implicados como son la fuerte insolación, la estabilidad atmosférica y la ausencia de vientos son elementos que favorecen la formación de ozono y de las altas temperaturas, por tanto los máximos de este contaminante secundario se darán fundamentalmente, en los meses de verano, como puede apreciarse en la **figura 15**.

EXPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN AL O₃

Figura 14.
Exposición de la población al ozono.



Por otro lado en entornos urbanos contaminados el NO recién emitido puede combinarse inmediatamente con el ozono según la reacción anterior (3) reduciendo sus concentraciones en el ambiente. Esto hace que normalmente **los máximos de ozono no se den en el centro de la ciudad sino en los parques y en la periferia** de las mismas, donde son menores las emisiones a la atmósfera de NOx. Debido a este proceso, una reducción de las emisiones de NOx en las ciudades pueden dar lugar a un aumento de las concentraciones de ozono. En estos casos son los C.O.V. los que deberían controlarse.

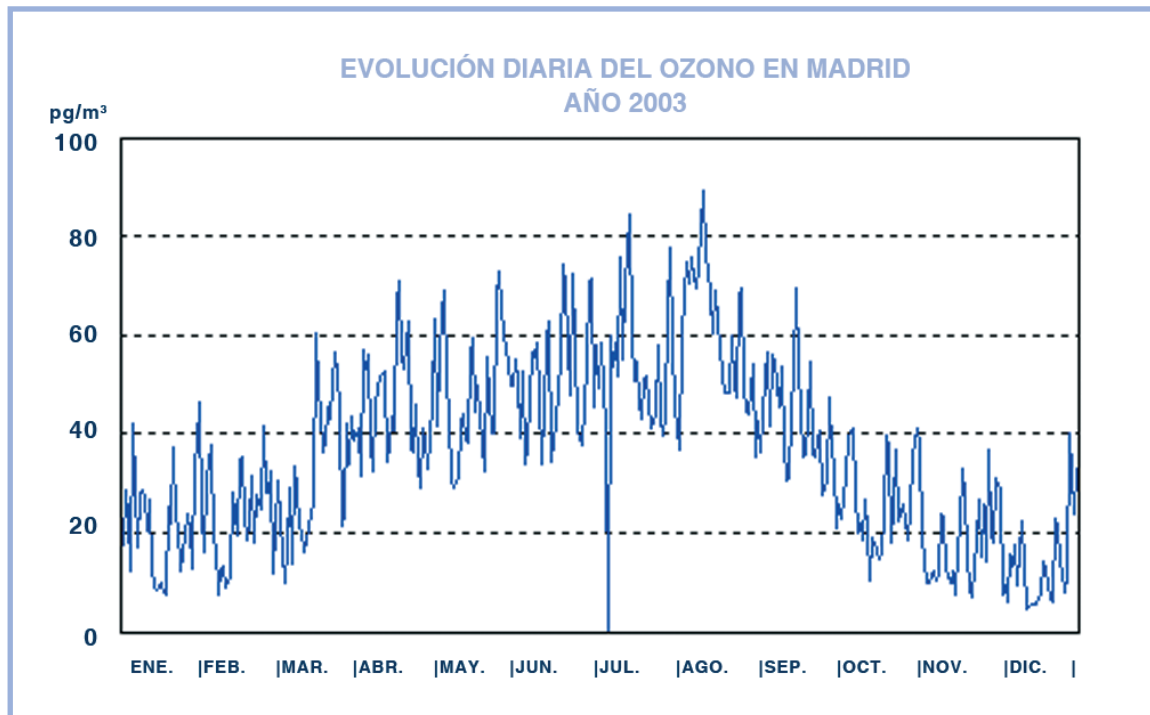


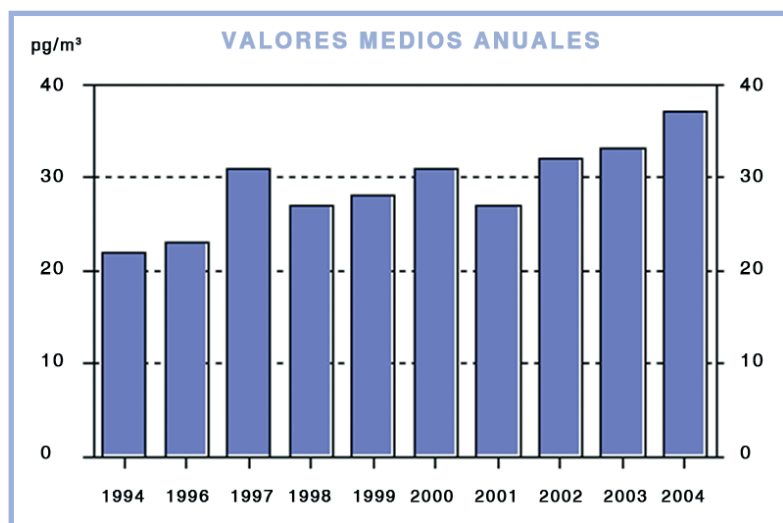
Figura 15.

Evolución diaria del ozono troposférico en Madrid durante el año 2003. Fuente: Ayuntamiento de Madrid.

> **Tendencias en las concentraciones del ozono troposférico.**

A nivel global, las emisiones de los precursores del ozono, NOx y C.O.V., aumentaron en Europa hasta finales de la década de 1980, pero **en la actualidad están descendiendo**. Entre 1990 y 1994, las emisiones de C.O.V. en la UE descendieron un 9%, aproximadamente, mientras que el total de emisiones en Europa bajó un 14 %. En las emisiones de NOx se han observado reducciones parecidas: un descenso del 8 % en la UE y un 14 % en Europa. Estos datos relativos a los precursores del ozono a nivel europeo no coinciden con las tendencias actuales detectadas en los niveles de ozono en las ciudades, quizás debido a la multitud de factores que intervienen en el proceso de formación del ozono y al aumento de sus precursores en ambientes urbanos, hacen que éste sea un contaminante que muestra una clara **tendencia creciente en los últimos años**. A modo de ejemplo en la **figura 16** se muestran las concentraciones medias anuales de este contaminante para la Ciudad de Madrid.

Figura 16.
Concentraciones medias anuales del ozono troposférico en la Ciudad de Madrid.
Fuente: Ayuntamiento de Madrid.



Por otro lado, y debido a la influencia de los factores meteorológicos en los procesos de formación de ozono, en un escenario hipotético y relacionado con el aumento de las situaciones de estancamiento y el aumento de la frecuencia e intensidad de las olas de calor relacionadas con el Cambio Climático, se prevé que las concentraciones de ozono troposférico en los próximos años, **en el horizonte del año 2100, pase de 40 partes por billón (ppb) hasta más de 70 ppb**, por lo que probablemente sea el contaminante que tenga más trascendencia en los próximos años.

2.3

Efectos en salud de los principales contaminantes atmosféricos urbanos.

> **Efectos de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad.**

Es evidente la existencia de una **asociación a corto plazo entre contaminación atmosférica y mortalidad** cuando se dan situaciones episódicas extremas, es decir, niveles de inmisión de contaminantes muy elevados. Así lo demuestra el exceso de mortalidad de hasta un 950 % en Bélgica en 1930; del 800 % en Donora, Pennsylvania, en 1948 y las 5000 muertes atribuidas a la contaminación en Londres en 1952. Los niveles a partir de los cuales se producían estos excesos de mortalidad se situaban en valores próximos a los $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como lo demuestran los estudios epidemiológicos realizados. La adopción de medidas de control de la contaminación impiden que en la actualidad se llegue a valores tan extremos como los anteriormente citados. En los últimos años y como consecuencia de la mejora de las técnicas estadísticas, fundamentalmente, estos niveles umbral a partir de los cuales se establecía relación entre contaminación atmosférica y mortalidad están disminuyendo. En los últimos trabajos que se están realizando sobre el tema en diversas ciudades del mundo, **parece que queda claro que esta relación se establece sin la existencia de un nivel umbral**. Es decir, cualquier aumento de la contaminación lleva asociado un aumento de mortalidad. Este aspecto cuestionó los valores guía fijados por la OMS según los cuales por debajo de ellos no existiría ningún riesgo para la salud y tuvo que definir unos nuevos en el año 1994 con drásticas limitaciones en cuanto a los umbrales de seguridad, como puede apreciarse en la **tabla 3**. Aunque son numerosos los estudios realizados, se pondrá a modo de ejemplo los efectos que sobre la mortalidad tiene la contaminación atmosférica en Madrid. Se parte de datos de muertes diarias ocurridas desde el 1 de enero de 1990 al 31 de diciembre de 1992. La contaminación atmosférica se refiere a dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, partículas totales en suspensión y ozono. Se controla por variables de confusión como temperatura, humedad relativa y gripe. Los resultados obtenidos muestran la existencia de relación entre los contaminantes y la mortalidad sin la existencia de umbral. Los más relacionados son las PST, el SO_2 y el O_3 . La relación en el primer caso es lineal, en el segundo logarítmica y en tercero cuadrática, con un mínimo en $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Las causas específicas relacionadas son las respiratorias y las circulatorias. El análisis estadístico realizado permite establecer que un incremento de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de partículas lleva asociado un exceso en la mortalidad total del 1,8 %. En el caso del SO_2 es del 2 % con el mismo aumento sobre la media y para el ozono el incremento sería del 12 % al exceder $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sobre el nivel umbral medio diario de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estudios recientes indican que la contaminación atmosférica en España produce del orden de 14000 muertes al año.

Contaminante ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Años 80	Actual (1994)
SO ₂	500 (10 min) 350(1hora) 125 (24 h)	500 (10 min) 125 (4 h) 50 (anual)
PST	125 (24 h)	Sin umbral
NO ₂	400 (1 hora) 150 (24 horas)	200 (1 hora) 40-50 (anual)
Ozono	120 (8 horas)	120 (8 horas)

Tabla 3. Evolución de los valores Guía de la OMS.

En la **tabla 4** se muestran los resultados del Proyecto APHEIS relativo al efecto sobre la mortalidad en la reducción en la concentración de PM10.

	Número de muertes atribuibles	Muertes atribuibles por año(tasa por 100.000 hab)
40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ *	0,0 (0,0 0,0)	0,0 (0,0 0,0)
20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ **	1546,8 (929,9 2181,0)	53,7 (32,3 75,7)
10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ***	2411,5 (1437,6 3429,4)	83,7 (49,9 119,0)
En 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ****	469,1 (284,8 654,9)	16,3 (9,9 22,7)

* Beneficios potenciales de reducir los niveles anuales de PM10 a 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

** Beneficios potenciales de reducir los niveles anuales de PM10 a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

*** Beneficios potenciales de reducir los niveles anuales de PM10 a 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

**** Beneficios potenciales de reducir los niveles diarios de PM10 en 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabla 4. Beneficios potenciales en reducir los niveles anuales de PM10 en la Comunidad de Madrid.

> **Efectos de la contaminación atmosférica sobre la morbilidad.**

Aunque el hombre en una atmósfera urbana está sometido a varios contaminantes que actúan de forma combinada y es muy difícil separar los efectos de unos contaminantes de otros, algunos estudios experimentales realizados permiten hablar de una serie de efectos en la salud de las personas expuestas a un contaminante concreto. Así, por ejemplo, el efecto de las **partículas suelen ser mecánico**, es decir las partículas se incrustan a nivel bronquial. Las partículas más finas, las $PM_{2.5}$ pueden llegar a nivel de bronquiolos, dificultando el intercambio de oxígeno e incluso pueden llegar al torrente sanguíneo. **El dióxido de azufre, por otro lado, es capaz de producir broncoconstricción en asmáticos**; disminución de la depuración pulmonar con el consiguiente aumento de infecciones y se le ha asociado, por tanto, con el aumento de incidencia de bronquitis y neumonías. En el caso de los **óxidos de nitrógeno**, la exposición a altas concentraciones de este contaminante se ha relacionado con disnea en personas sanas, **aumento de sensibilidad a irritantes en asmáticos** y diversos cambios patológicos semejantes a enfisema pulmonar.

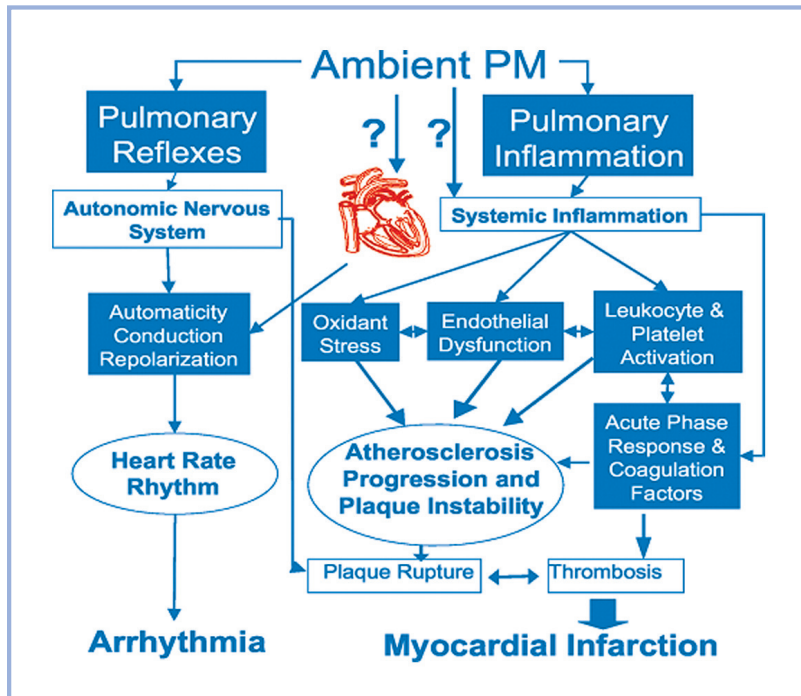


Figura 17.

Efectos cardiovasculares y respiratorios de las Partículas.

Obviamente, estas patologías tienen una relación inmediata con las urgencias hospitalarias y numerosos trabajos relacionan los incrementos de estos contaminantes con un aumento de los ingresos por urgencias en los hospitales.

	Número de días al año Que sobrepasan 50 y 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Número de casos por año. Ingresos Cardiovasculares Todas las edades	Número de casos por año. Ingresos Respiratorias Mayores 65 años
50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ *	59	15,4 (6,2 24,6)	23,0 (15,4 33,2)
20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ **	322	103,1 (41,4 164,1)	153,6 (103,1 220,7)

Tabla 5.

*Beneficios potenciales de reducir los niveles diarios de PM10 mayores de 50 a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

** Beneficios potenciales de reducir los niveles diarios de PM10 mayores de 20 a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Cuantitativamente sus efectos son muy similares a los obtenidos para la mortalidad y citados anteriormente. Según recientes estudios el coste sanitario en España debido a la contaminación atmosférica puede estar cerca de los 33 millones de euros anuales. En la **tabla 5** se muestran los efectos de la reducción de los valores de PM₁₀ en la Comunidad de Madrid.

> **Efectos del ozono troposférico sobre la salud humana**

El ozono es un potente oxidante y, por tanto, **es extremadamente irritante** para el sistema respiratorio. Es capaz de reaccionar con una gran variedad de moléculas extracelulares e intracelulares y produce cambios perjudiciales que pueden ser medidos por la función pulmonar. Además, el ozono es menos soluble que otros gases irritantes, y puede penetrar más eficazmente a través del árbol traqueobronquial induciendo lesiones en las células del pulmón.

Desde el punto de vista de la sintomatología, los efectos del ozono sobre la salud han sido estudiados desde hace más de 30 años. **Las respuestas del tracto respiratorio inducidas por el ozono incluyen reducción en la función pulmonar y el empeoramiento de enfermedades pre-existentes, como asma.** También puede producir otros síntomas como irritación de los ojos, dolor de cabeza, dolor de pecho, tos... La actividad física y la sensibilidad individual son factores para determinar

los grupos diana de población a los que más afecta el ozono troposférico. Así, los niños, adultos sanos haciendo ejercicio al aire libre, personas con enfermedades previas y los ancianos son los más afectados por este contaminante fotoquímico. Los niños y adultos sanos son más sensibles al ozono cuando realizan sus actividades al aire libre porque la actividad física provoca que las personas respiren más rápido y profundo con lo que aumentan la dosis de contaminante recibida y la mayor penetración del ozono a regiones más profundas del pulmón. Además **los niños tienen un alto riesgo de exposición al ozono** porque pasan largos periodos de tiempo al aire libre realizando un ejercicio físico intenso y su frecuencia respiratoria es mayor, es decir, inhalan más contaminante por kg de peso corporal.



Aunque tradicionalmente, y como se ha expuesto hasta ahora, es el sistema respiratorio el más relacionado con la exposición al ozono, estudios recientes han establecido un nexo entre el ozono y **patologías cardiovasculares**. El ozono provoca una constricción arterial, disminuyendo por tanto el diámetro de las arterias y aumentando la posibilidad de afecciones relacionadas con procesos vasculares.

Por otra parte, y como se citó anteriormente, el ozono está relacionado con altas temperaturas. La reciente ola de calor del año 2003 en Europa ha puesto de manifiesto la existencia de una clara asociación entre los días de más calor y los máximos anuales de ozono. Estudios realizados en Francia, Bélgica y Suiza **indican que una parte de la mortalidad atribuible a la ola de calor estuvo relacionada con los altos niveles de ozono registrados**

En cuanto a los estudios epidemiológicos que relacionan el ozono con mortalidad e ingresos hospitalarios, cabe destacar un estudio realizado en la Ciudad de Madrid. Según este trabajo existe una concentración media diaria que marca un umbral a partir del cual concentraciones superiores comienzan a tener influencia sobre la morbi-mortalidad. Este umbral, que en ambos casos está próximo a los $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, muestra que un incremento de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sobre este nivel se traduce en un aumento de un 12 % en la mortalidad y en un 18% para el caso de los ingresos por urgencias tanto por patologías respiratorias como cardiovasculares. Estos incrementos son seis veces superiores a los detectados en los contaminantes primarios como las partículas en suspensión o el dióxido de azufre, para el conjunto de la población.

> Efectos del ozono sobre el medio ambiente.

El ozono se encuentra entre los contaminantes atmosféricos más perjudiciales para la vegetación. Se ha observado que los episodios cortos a altas o medias dosis (frecuentes actualmente en Europa), producen **efectos agudos sobre las plantas**, mientras que las exposiciones prolongadas a bajas concentraciones producen efectos de carácter crónico. Los primeros son fácilmente visibles y se aprecian en las hojas mediante manchas punteadas de color rojizo, marrón o púrpura. Los efectos crónicos son menos visibles produciendo daños a nivel metabólico. En ambos casos, la acción del ozono reduce la fotosíntesis neta y puede aumentar el **envejecimiento prematuro, traduciéndose todo ello en un rendimiento menor de los cultivos**. Entre éstos los más afectados son los de patata, tomate, tabaco, espinacas y centeno. Entre los árboles, los que más sensibles al ozono son los fresnos.

El ozono penetra en las hojas de las plantas a través de los estomas con una eficacia que depende del número y del tamaño de los mismos, así como de las condiciones de humedad y de la diferencia de presión. Una vez que el ozono se encuentra en el interior de las hojas, los radicales producidos alteran de forma progresiva la integridad de las células, lo que se traduce en la reducción de la fotosíntesis neta en la planta.

Indirectamente el ozono también contribuye a la oxidación de otros contaminantes presente en la atmósfera (NO y H_2S) que, tras disolverse, pueden dar lugar al fenómeno de lluvia ácida cuyos efectos se comentarán más adelante. En cuanto a la influencia del ozono sobre los materiales, es capaz de degradar polímeros naturales como el caucho, el algodón, la celulosa y las pinturas, con el consiguiente impacto sobre este tipo de estructuras.

2.4

La lluvia ácida: causas y efectos.

Se define lluvia ácida como las diferentes formas en las cuales se puede registrar la deposición sólida, líquida o en estado de agregación de gotículas de niebla **cuyo pH es inferior a 5,6**. Este valor se debe a que la acidez propia de la atmósfera debido a la existencia de CO_2 es 5,6. Debido a la presencia en la atmósfera de sustancias contaminantes como los óxidos de nitrógeno y de azufre, se produce su oxidación y se forman los ácidos sulfúrico y nítrico que acidifican la atmósfera.

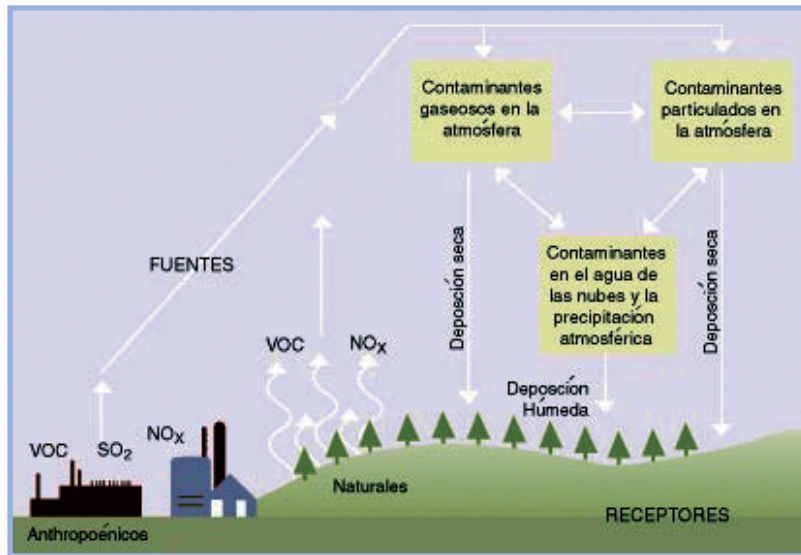
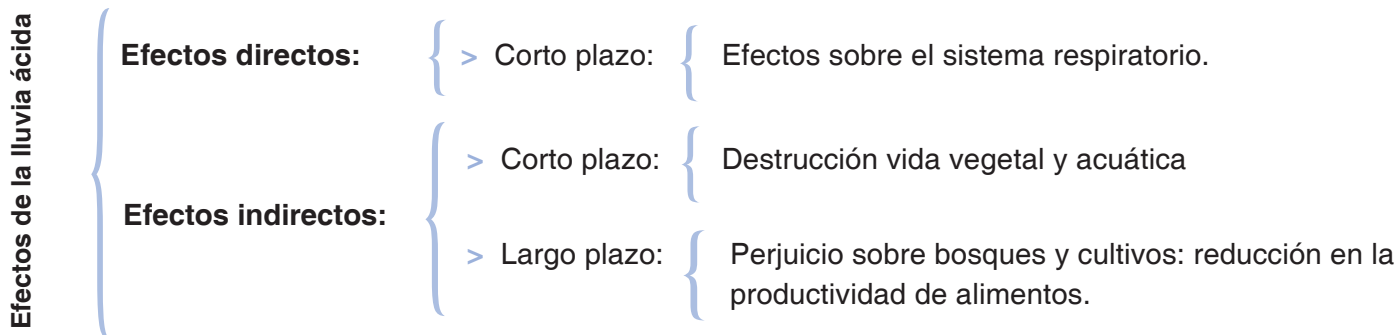


Figura 18.
Origen de la lluvia ácida.

Pero el problema de la precipitación ácida es un **problema de contaminación transfronteriza**, es decir, las masas de aire transportan estos núcleos ácidos de los países contaminados a otros de sus proximidades produciéndose la precipitación, en ocasiones, lejos del foco emisor. Por tanto, las medidas tendentes a resolver el problema deberán ser a escala, al menos, europea. España es el quinto país emisor de NO_x en el seno de la U.E. y el tercer en cuanto a las emisiones de óxidos de azufre. Según estudios realizados en nuestro país en España existen dos zonas de acidez de pH inferior a 4,6. Una de ellas corresponde al sureste (Cartagena) y la otra a la zona centro. En alguna estación medidora de

contaminación transfronteriza en España (Logroño), dentro del conjunto de estaciones EMEP, se han llegado a medir precipitaciones de pH 2,9 en cuanto a lluvia ácida y 9,3 respecto de lluvia básica o “roja” en el periodo 89-91.



Estos efectos ya se han dejado notar en numerosos lagos de Centroeuropa. Así, por ejemplo, en Suecia se han acidificado un total de 18.000 lagos de los cuales 2.000 han perdido su población piscícola. También los bosques europeos se han visto afectados. Como ejemplo cabe citar que el 50 % de los abetos rojos alemanes están afectados y se estima que hasta un millón de hectáreas en Europa Central están afectados por este problema. **En España, el último estudio sobre el estado de los bosques europeos señala que un 11 % de nuestra masa vegetal está afectada por la contaminación.**



Figura 19.
Bosque afectado por lluvia ácida.

	pH	pH 6.0	pH 5.5	pH 6.0	pH 4.5	pH 4.0
TRUCHA						
LUBINA						
PERCA						
RANAS						
SALAMANDRA						
ALMEJAS						
CANGREJO DE RÍO						
CARACOLES						
EFÍMERAS						

Figura 20. Relación entre el pH del agua y la supervivencia de diferentes especies.

> **Soluciones al problema de la lluvia ácida.**

Es en la década de los ochenta cuando se agudizan los problemas relacionados con la precipitación ácida. Su carácter transfronterizo hace que el problema en nuestro entorno se aborde a nivel europeo. Así se firma el Convenio de Ginebra sobre contaminación transfronteriza y los **Protocolos EMEP** para la instalación de estaciones de medida de este tipo de contaminación; el **Protocolo de Helsinki** sobre el SO_2 y el **Protocolo de Sofía** sobre los NO_x . Sus objetivos son la reducción o estabilización de emisiones de estos contaminantes. Según el informe sobre el medio ambiente de la OCDE de 1994 la U.E. ha aumentado sus emisiones de óxido de azufre en un 9%, mientras que las de los NO_x han crecido un 12%. Estados Unidos, Japón y Canadá siguen siendo los países que más emisiones realizan de SO_2 .

2.5

Legislación actual aplicable en contaminación atmosférica urbana.

La legislación actual aplicable en contaminación atmosférica para los contaminantes primarios es la transposición de la Directiva 199/30/CE. En ella se marcan unos valores límite y un tiempo para el cumplimiento de estos valores límite. Tal como se muestra en la **figura 21**. Las **figuras 22 y 23** hacen referencia a ejemplos para los casos de los NO_2 y PM_{10} , respectivamente.

DIRECTIVA 1999 / 30 / CE

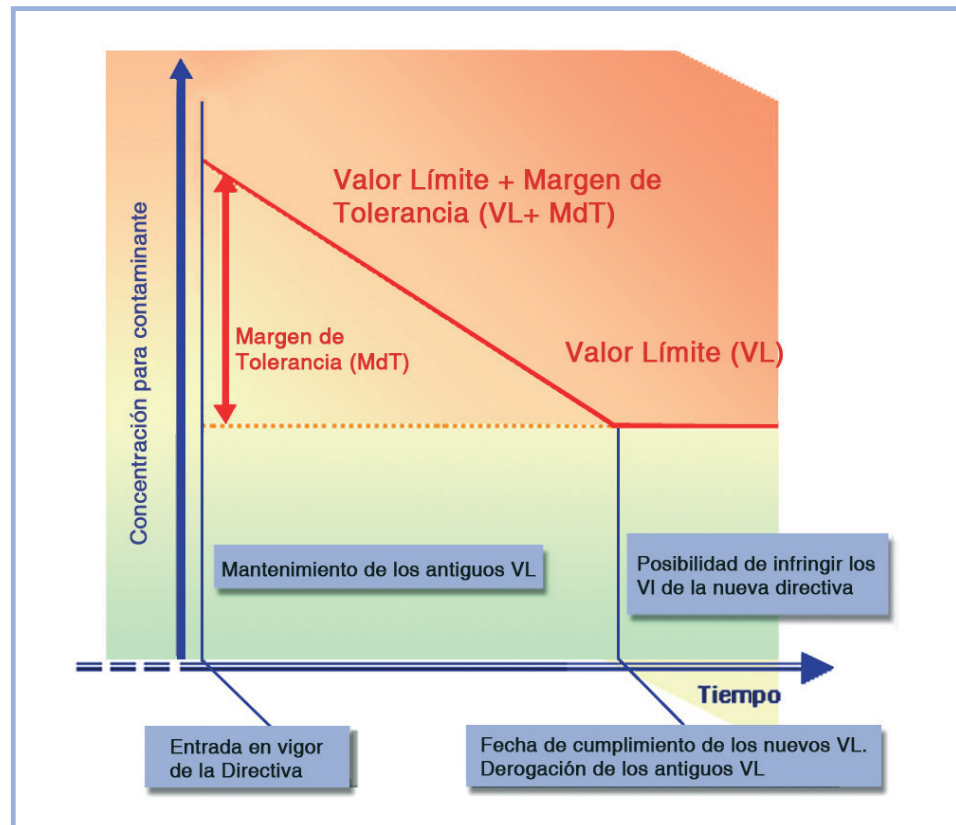


Figura 21.
Valor Límite y margen de tolerancia
según la Directiva 99/30 CE

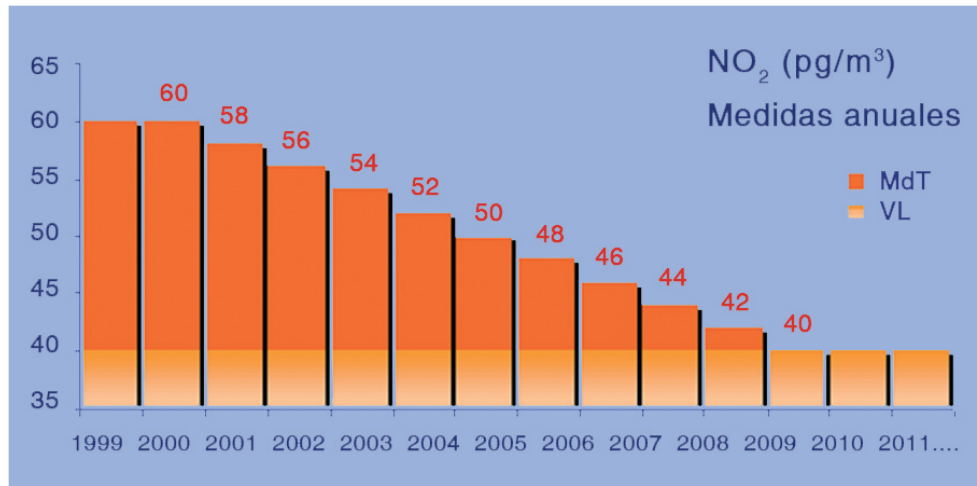


Figura 22.
Valor Límite y margen de tolerancia para el NO₂.

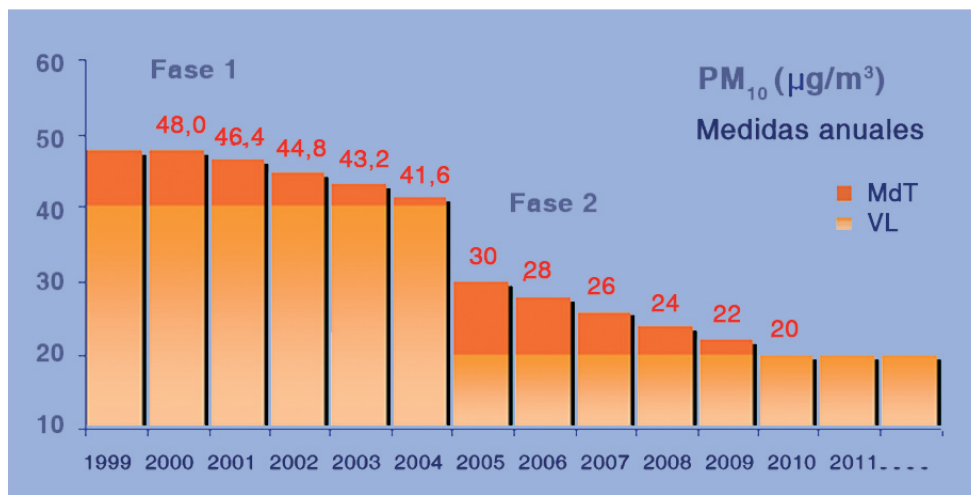


Figura 23.
Valor Límite y margen de tolerancia para las PM₁₀.

En las **tablas** siguientes se muestran los valores límite del RD1073/2002, transposición a la normativa española de la Directiva Europea

Tipo de límite	Periodo de promedio	Valor límite	Márgen de Tolerancia	Fecha de cumplimiento valor límite
Valor límite horario para la protección a la salud humana	hora	200 µg/m ³ , valor que no debe superarse más de 18 ocasiones por año civil	50 % a la entrada en vigor de la directiva, con una reducción lineal a partir del 1 de enero de 2001, hasta alcanzar el 0% el 1 de enero de 2010	1 de enero de 2010
Valor límite anual para la protección a la salud humana	año civil	40 µg/m ³	50 % a la entrada en vigor de la directiva, con una reducción lineal a partir del 1 de enero de 2001, hasta alcanzar el 0% el 1 de enero de 2010	1 de enero de 2010
Valor límite para la protección a la vegetación (NO _x)	año civil	30 µg/m ³	Ninguno	19 de julio de 2001

Tabla 6- Tabla de valores límite para NO₂ del R.D. 1073/2002.

Tipo de límite	Periodo de promedio	Valor límite	Márgen de Tolerancia	Fecha de cumplimiento valor límite
Valor límite horario para la protección a la salud humana	hora	350 µg/m ³ , valor que no podrá superarse más de 24 ocasiones por año civil	(43%) a la entrada en vigor de la directiva, con una reducción lineal a partir del 1 de enero del 2001, hasta alcanzar el 0% el 1 de enero de 2005. 1 de enero de 2005	1 de enero de 2005
Valor límite anual para la protección a la salud humana	24 horas	125 µg/m ³ , valor que no podrá superarse en más de 3 ocasiones por año civil	Ninguno	1 de enero de 2005
Valor límite para la protección de los ecosistemas	Año civil e invierno (del 1 de Octubre al 31 de Marzo)	20 µg/m ³	Ninguno	19 de julio de 2001

Tabla 7- Tabla de valores límite para SO₂ del R.D. 1073/2002.

Tipo de límite	Periodo de promedio	Valor límite	Márgen de Tolerancia	Fecha de cumplimiento valor límite
Fase 1				
Valor límite diario para la protección de la salud humana	24 horas	50 µg/m ³ , que no podrá superarse más de 35 ocasiones por año.	(50%) a la entrada en vigor de la Directiva, con una reducción lineal para el 1 de enero de 2001 y a continuación cada 12 meses hasta alcanzar el 0% para el 1 de enero de 2005.	1 de enero de 2005
Valor límite anual para la protección a la salud humana	1 año civil	40 µg/m ³	20% a la entrada en vigor de la Directiva, con una reducción lineal para el 1 de enero de 2001 y cada 12 meses hasta alcanzar el 0% para el 1 de enero de 2005.	1 de enero de 2005
Fase 2				
Valor límite diario para la protección de la salud humana	24 horas	50 µg/m ³ , que no podrá superarse más de 7 ocasiones por año.	Será equivalente al valor límite de la fase 1	1 de enero de 2010
Valor límite diario para la protección de la salud humana	1 año civil	20 µg/m ³	50% 1 de enero de 2005 y a continuación cada 12 meses hasta alcanzar el 0% para el 1 de enero de 2010.	1 de enero de 2010

Tabla 8. Valores límite para la protección a la salud humana de PM10

Para el caso del ozono troposférico la normativa vigente hace referencia al RD 1796/2003, consecuencia de la transposición de la Directiva Europea 2002/3/CE

Umbral	Valor	Periodo de referencia
Umbral de información a la población	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio horario
Umbral de alerta a la población	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio horario. Para los planes de acción inmediata se evalúa durante 3 horas consecutivas.
Protección a la salud	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media móvil octohoraria sin recuperación máxima de cada día, no podrá superarse más de 25 días por cada año civil de promedio en un periodo de 3 años.
Protección de los bosques	AOT40 = 6.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$	Valores horarios de mayo a julio.
Protección a la vegetación	AOT40 = 6.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$	Valores horarios de abril a septiembre
Daños a los materiales	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Año civil

La AOT40 se calcula para el periodo de mayo a julio con las medias horarias de todos los días de 8:00 a 20:00. Media de la diferencia de los valores mayores de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabla 9. Umbrales para ozono troposférico, umbrales y valores objetivo, R.D. 1796/2003

NIVELES MÁXIMOS HORARIOS DE OZONO (O₃) DURANTE EL VERANO DE 2003 EN VALLADOLID

Fuente: Ayuntamiento de Valladolid

— Cementerio del Carmen — Protección salud 8 horas Valor objetivo 8 horas

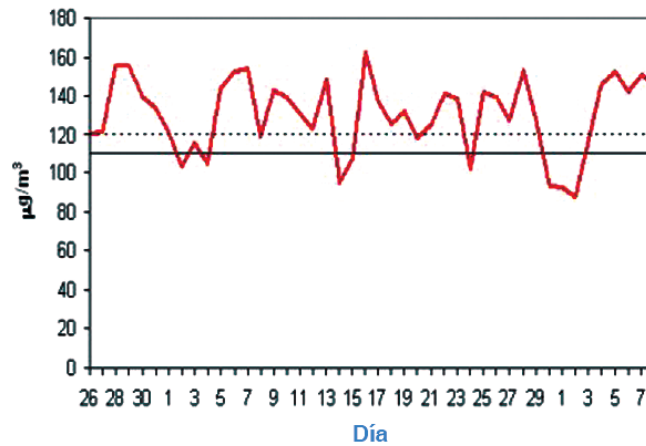


Figura 24.

Evolución del ozono troposférico en Valladolid durante el verano de 2003.

3. Efecto invernadero y cambio climático.

3.1 ¿Qué es el efecto invernadero y cuál su relación con el cambio climático?

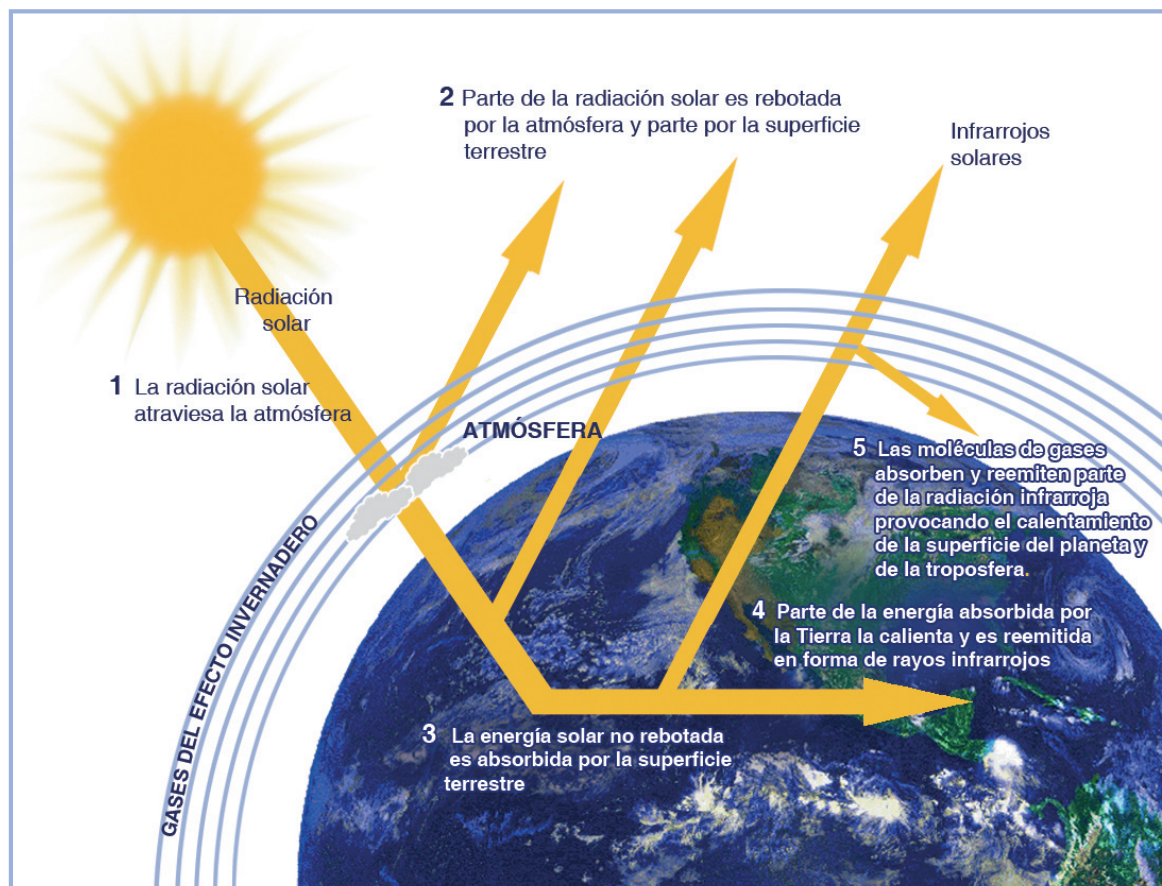
El efecto invernadero es un fenómeno natural causado por la presencia de determinados gases en la atmósfera denominados gases de efecto invernadero (G.E.I.). Bajo un cielo claro, alrededor del 60% del efecto invernadero es producido por el vapor de agua. Después de él son importantes, por este orden, el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el hemioxido de nitrógeno (N₂O) y los gases fluorados. Si excluimos al vapor de agua, cerca del 80 % del efecto de invernadero

se debe al CO_2 . El dióxido de carbono es un gas componente natural de la atmósfera. No se trata de una gas contaminante, tal es así que los seres vivos emitimos CO_2 , de hecho, la vida en nuestro planeta viene marcada por la existencia de este gas. Si no existiese esta envoltura de CO_2 que rodea a la Tierra, la temperatura media del planeta sería de -18°C , en lugar de los 15°C que constituye la temperatura media actual. Es mas, en planetas como Marte en los que no existe CO_2 la temperatura media es del orden de -150°C , mientras que Venus que tiene una atmósfera rica en dióxido de carbono la temperatura es de varios cientos de $^\circ\text{C}$.

Los registros históricos de CO_2 que se poseen de la concentración de este gas en la atmósfera se pueden remontar hasta mil años atrás. Esta concentración se ha mantenido prácticamente constante y próxima a una concentración de 238 partes por millón (ppm) durante toda la **época preindustrial**, sin embargo desde este momento la concentración de CO_2 atmosférico ha seguido un **continuo ascenso como consecuencia del creciente consumo de combustibles fósiles** (carbón, petróleo y gas) que ha hecho que en el año 2000 las concentraciones se hayan elevado hasta 369 ppm. Asimismo, también se ha observado un aumento en la concentración de metano como consecuencia de las actividades industriales y ganaderas.

Fue el físico francés Jean Baptiste Joseph Fourier quien en 1827 sugirió que la **atmósfera terrestre podía actuar como el vidrio de un invernadero**. El mecanismo es el siguiente: el sol emite su energía en una longitud de onda, que por su elevada temperatura, corresponde a una longitud de onda corta. La energía, centrada en el espectro visible en el amarillo-naranja, atraviesa prácticamente toda la atmósfera sin ningún obstáculo (excepto la delgada capa de ozono estratosférico que absorbe parte de la radiación ultravioleta). La energía solar no reflejada por la propia atmósfera o por la superficie terrestre, es absorbida por la Tierra, parte de esta energía la calienta y es reemitida al exterior en forma de rayos infrarrojos, los cuales poseen una longitud de onda larga. Es entonces cuando las moléculas de G.E.I. que componen la atmósfera absorben y reemiten parte de la radiación infrarroja de nuevo hacia la Tierra, provocando el calentamiento de la superficie del planeta y de la troposfera. **La clave del efecto invernadero está en que la atmósfera es transparente a radiaciones de onda corta y, sin embargo, algunos de sus gases componentes, los denominados G.E.I., no lo son a longitudes de onda larga**, actuando como una trampa térmica igual que lo hace el vidrio de un invernadero. El efecto invernadero lo que hace es provocar que la energía que llega a la Tierra sea “devuelta” más lentamente, por lo que es “retenida” más tiempo junto a la superficie. Por tanto, si cada vez es mayor la concentración de CO_2 existente en la atmósfera, irá disminuyendo la proporción de energía capaz de abandonar la atmósfera terrestre con lo que se producirá un exceso de energía en ella. Por primera vez en la historia, la actividad económica del hombre ha llegado a ser tan extensa que comienza a cambiar la composición de los gases atmosféricos.

EL EFECTO INVERNADERO



> EL EFECTO INVERNADERO

La atmósfera actúa como una trampa térmica y este efecto invernadero aumenta con la concentración de gases como el dióxido de carbono (CO_2)

La actividad humana, la deforestación y la quema de combustibles fósiles incrementa la presencia del CO_2 en el aire.

Gases de efecto invernadero que incluye el Protocolo de Kioto

- > Dióxido de carbono (CO_2)
- > Metano (CH_4)
- > Óxido nitroso (N_2O)
- > Hidrofluorocarburos (HFC)
- > Perfluorocarbonos (PFC)
- > Hexafluoruro de azufre (SF_6)

Figura 25.
Mecanismo del efecto invernadero.

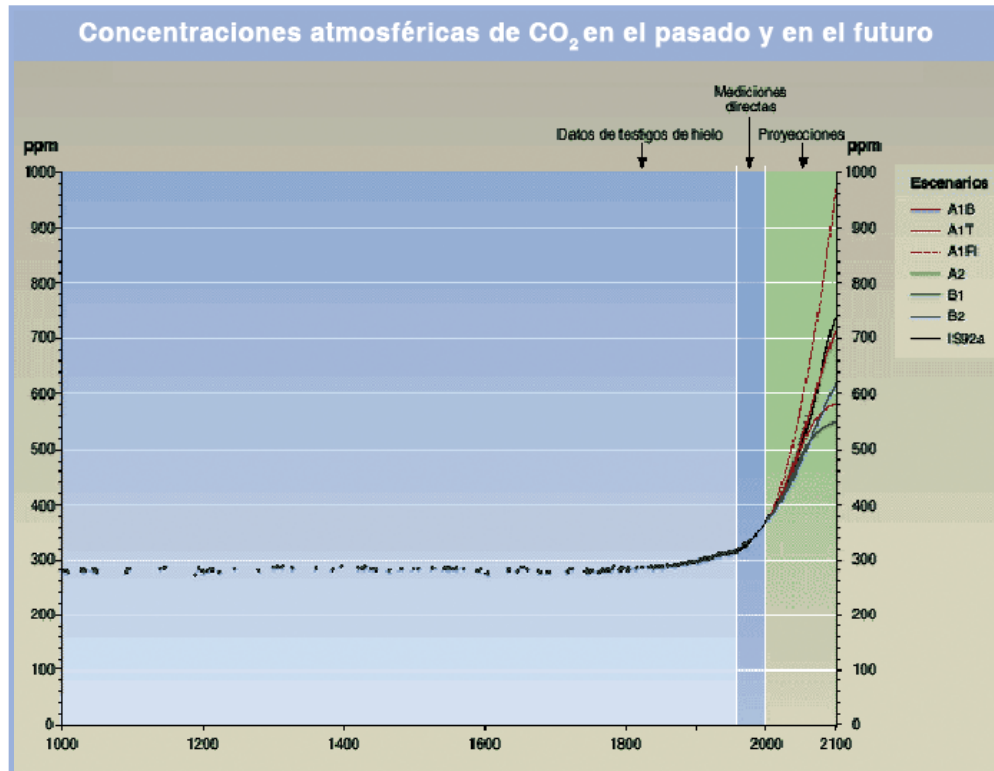


Figura 26.
Evolución del CO₂ en los últimos mil años.

Ahora bien, este exceso de energía **¿es capaz de cambiar el clima?**, según el Panel Intergubernamental para el estudio del Cambio Climático (IPCC), organismo internacional creado en 1988 para analizar la influencia del hombre en el sistema climático terrestre, **no existe ninguna duda de que la actividad humana está alterando el clima** y este cambio va a ser más abrupto cuanto mayor sean las concentraciones de CO₂ existentes en la atmósfera. Según los distintos escenarios planteados por IPCC, constituido por científicos interdisciplinarios de todo el mundo que intentan evaluar las interacciones que el hombre ha introducido en el sistema climático y su futuro impacto, dependiendo de que utilicemos políticas de reducción de emisiones de CO₂ mediante la utilización de otro tipo de energías, para el año 2100 las concentraciones de CO₂ presentes en la atmósfera pueden oscilar entre 540 ppm en un escenario respetuoso con el medio ambiente a las 970 ppm para aquel escenario basado en la utilización masiva de los combustibles fósiles y las tendencias económicas de producción y consumo actuales.

3.2

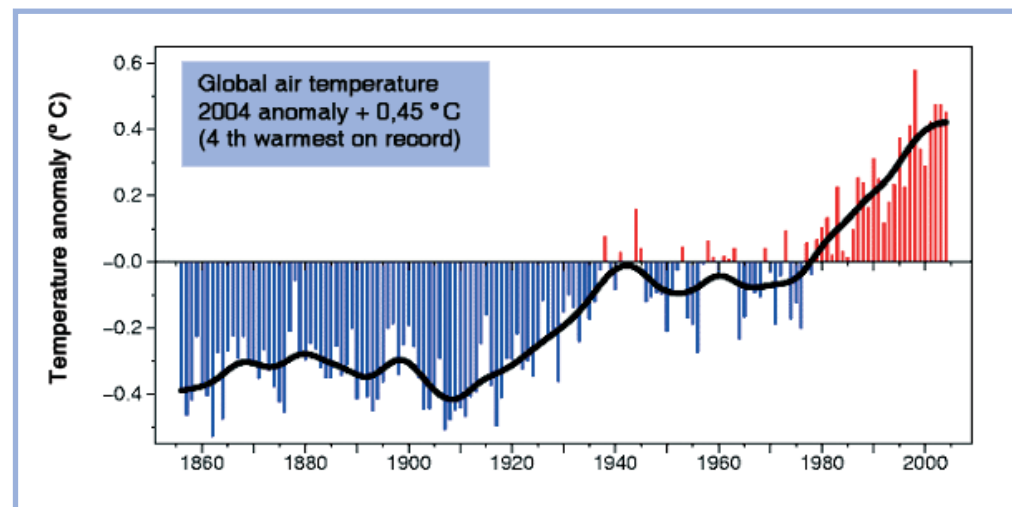
¿En qué va a influir el exceso de CO₂ en la atmósfera ?

Fundamentalmente el aumento de las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera pueden influir directamente en dos factores: el aumento de la temperatura media del planeta y el aumento del nivel de los océanos.

Es evidente que el exceso de energía presente en la atmósfera se va a traducir en un **aumento de la temperatura media del planeta**. Según estemos en un escenario más o menos conservador con el medio ambiente el efecto será diferente. Para el escenario más respetuoso, la temperatura media terrestre en el horizonte del año 2100 puede subir 1,4 °C y en el menos respetuoso hasta 5,8 °C. Este incremento es superior entre 2 y 10 veces al observado en el siglo XX . Hay que tener en cuenta que los problemas derivados del cambio climático no van a estar en el incremento de la temperatura, cosa que ha ocurrido a lo largo de la historia de la Tierra, si no en la **velocidad del incremento**, es decir, va a aumentar mucho la temperatura en muy poco tiempo. Una velocidad de incremento similar no ha tenido lugar en la historia de la Tierra, al menos en los últimos 10.000 años. De hecho, los resultados de las últimas investigaciones son cada vez más concluyentes: en el hemisferio norte, 10 de los 12 años más calurosos del siglo XX ocurrieron entre los años 1988 y 2000. El calentamiento es continuo, aunque no de una forma uniforme en todo el planeta, en el hemisferio norte se ha registrado un rápido incremento térmico mientras que en el hemisferio sur este calentamiento ha sido más suave.



Figura 27.
Anomalía de la temperatura
media global del aire en los
últimos años.



Por otro lado, **el incremento del nivel del mar** viene inducido por dos factores, el aumento de la temperatura del agua que tiene como consecuencia inmediata el incremento de su volumen y además, porque se está produciendo el deshielo de las masas glaciares existentes, por todo ello el nivel de los océanos está aumentando. Este incremento, según uno u otro escenario, estará entre 0,1 m y 0,9 m, respectivamente. Otra consecuencia directa incide sobre el régimen de precipitaciones. Éstas tienden a aumentar en latitudes medias a lo largo de las últimas décadas, mientras que en zonas subtropicales del hemisferio norte disminuyen y en general aumentan en el hemisferio sur. También se ha observado la amplificación de fenómenos climáticos tropicales tales como El Niño, la mayor intensidad de ciertos tornados, así como su aparición en regiones no habituales.

3.3**¿De qué manera se puede ver afectada nuestra salud?**

Son numerosos los factores que van a actuar sobre nuestra salud como consecuencia de lo hasta ahora expuesto. Comenzaremos con las de mayor incidencia en nuestro entorno.

> Olas de calor y frío:

Por un lado el incremento que se va a producir en la temperatura no va a ser lineal, si no que lo que probablemente ocurra es que **aumente la frecuencia e intensidad de los eventos térmicos extremos**, es decir, cada vez serán más frecuentes y mas intensas las olas de calor y frío. Desgraciadamente, después de la ola de calor ocurrida durante el verano de 2003 en Europa nadie duda ya de la relación existente entre el calor y la mortalidad. Así, la ola de calor en Francia del 1 al 20 de agosto de 2003 provocó un exceso de mortalidad respecto al mismo periodo de años anteriores de 14800 personas. En Italia, se estimó un incremento de 4175 defunciones en el grupo de mayores de 65 años entre el 15 de julio y el 15 de agosto. En Gran Bretaña este incremento se estimó en 2045 personas entre el 4 y el 13 de agosto y en nuestro país se produjo un exceso de mortalidad respecto al año anterior de más de 6000 personas. Las altas temperaturas pueden provocar cuadros de deshidratación, “golpes de calor”, calambres, lipotimias, arritmias y la agravación de enfermedades circulatorias y respiratorias ya existentes; siendo el **grupo de personas mayores las más afectadas** y aquellos que poseen enfermedades cardiovasculares, renales o respiratorias, así como personas obesas o individuos que toman drogas, alcohol o determinada medicación. Pero, **¿a qué temperatura se produce una ola de calor o frío?** Estudios recientes parecen haber establecido que es la temperatura máxima diaria la utilizada para definir una ola de calor o frío. Se ha observado que para el caso de las

altas temperaturas, éstas empiezan a influir sobre la mortalidad **cuando la temperatura máxima diaria supera el percentil 95 de la serie de temperaturas máximas diarias** durante el periodo veraniego. Evidentemente esta temperatura cambia de un lugar a otro, así es de 36,5°C para el caso de Madrid, de 30,3°C de temperatura máxima para el caso de Barcelona o de 41°C para Sevilla.

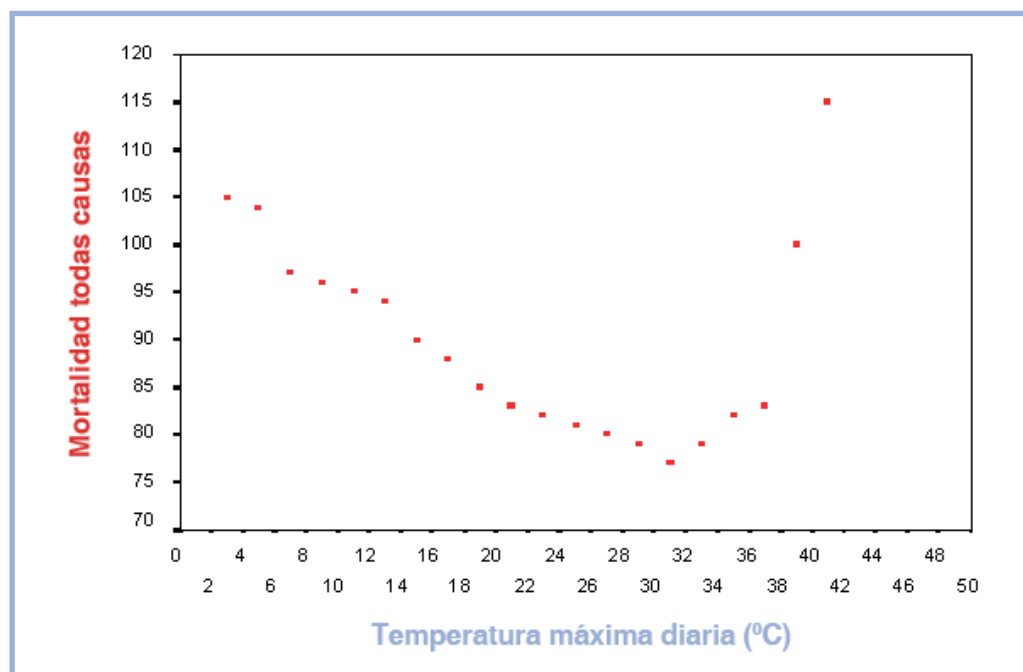
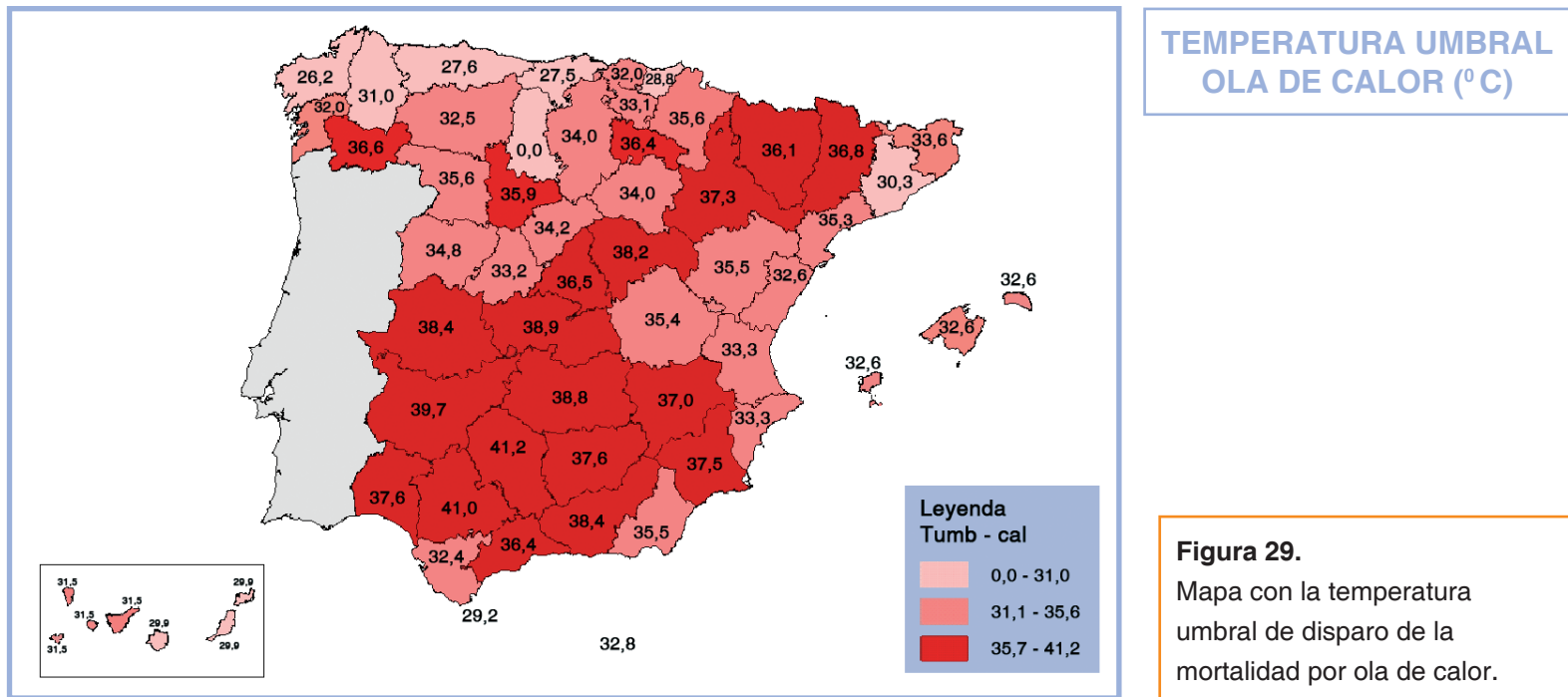


Figura 28.

Relación entre la temperatura máxima diaria y la mortalidad en Madrid.

A partir de que la temperatura máxima diaria supere estos umbrales comienza a aumentar la mortalidad, siendo su efecto mayor a medida que más días dure esa superación del umbral de temperatura máxima diaria y siendo especialmente perjudicial la primera ola de calor del año, ya que cuenta con más personas susceptibles. Además **los efectos implicados suelen ser a muy corto plazo**, es decir, la mortalidad aumenta 1 ó 2 días después de superarse el umbral. Se sabe que el

calor excesivo puede producir aumento del número de plaquetas y del hematocrito, por tanto un aumento en la viscosidad de la sangre y elevación del colesterol sérico lo que puede producir una mayor cantidad de trombosis cerebrales y problemas coronarios. Para **el caso del frío** el comportamiento es el contrario, es decir, **el efecto es a largo plazo**, las personas comienzan a fallecer entre 7 y 15 días después de que comienzan las bajas temperaturas y el efecto sobre la mortalidad es mayor a medida que las olas van repitiéndose a lo largo del año. **La definición de ola de frío se establece cuando la temperatura máxima diaria no supera el percentil 5** de la serie de temperaturas máximas para los meses de invierno, para el caso de Madrid esta temperatura es de 6 °C, y oscilan entre los 2,7 °C de máxima diaria para Ávila y los 15 °C para Alicante. El efecto del frío suele ser menos intenso que el del calor e ir acompañado por el agravamiento de otras patologías previas existentes, por lo que muchas veces pasa desapercibido su efecto sobre la mortalidad. Las previsiones realizadas por medios de modelos matemáticos indican que para el horizonte del año 2050 se puede aumentar por 6 la tasa de mortalidad asociada fundamentalmente al calor.



> **Aumento de la contaminación atmosférica:**

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera la contaminación atmosférica como una de las prioridades mundiales más importantes en salud. De hecho, se considera que **el 1,4 % de muertes en todo el mundo están relacionadas con la contaminación atmosférica**. En los países industrializados como Francia, Suiza y Austria, el 6 % de la mortalidad es atribuible a la contaminación atmosférica. Las condiciones atmosféricas asociadas al cambio climático con el predominio de situaciones de estabilidad y elevada insolación van a hacer que se produzca un aumento en las concentraciones de ozono troposférico en el aire, es decir, del ozono presente en las capas bajas de la atmósfera y que respiramos, así como de las partículas denominadas finas. Algunas predicciones apuntan que para el año 2100 prácticamente se van a ver duplicadas las concentraciones de este gas en el aire. Como se ha citado anteriormente, el **ozono es un gas altamente oxidante** que irrita el epitelio respiratorio agravando diversas **patologías cardiorrespiratorias**, reduciendo la función pulmonar y agravando el asma. Estudios realizados para la ciudad de Madrid relacionan el aumento de la mortalidad diaria por todas las causas a partir de una concentración de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media diaria en un 12% para un incremento de la concentración de ozono en $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo las patologías implicadas las respiratorias y las cardiovasculares. Se conoce, además, que las épocas de temperaturas elevadas se relacionan con incrementos acusados en la concentración de ozono y que en general las altas temperaturas aumentan los efectos sobre la salud de los contaminantes.

En cuanto a las partículas denominadas finas, también es previsible un aumento en sus concentraciones, elevándose por tanto la mortalidad tanto por causas circulatorias como respiratorias. Un estudio europeo reciente realizado para la Comunidad de Madrid indica que un aumento de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de estas partículas llevaría asociado un aumento a corto plazo en la tasa de mortalidad de 2,4 muertes/100.000 habitantes y de 16, 3 muertes/100.000 habitantes a largo plazo cada año.

Por tanto, **parece claro que el cambio climático va a producir un sustancial aumento de la contaminación atmosférica y por tanto de un incremento de la ya elevada mortalidad y de los ingresos hospitalarios** relacionados con patologías cardiorrespiratorias.

> **Cambios en la distribución de transmisores de enfermedades infecciosas.**

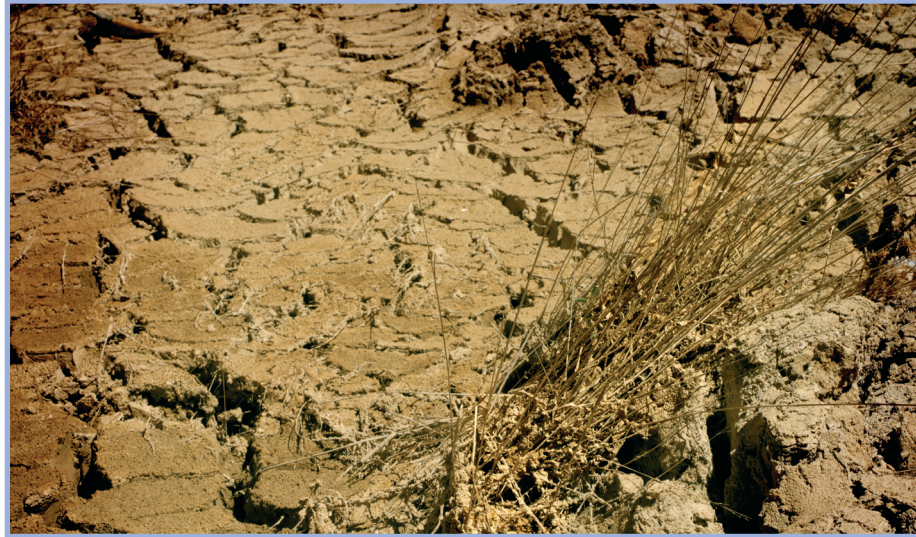
Existen **algunas enfermedades transmitidas por vectores** de transmisión como son los mosquitos que se van a ver influenciadas por el cambio climático, ya que estas especies son sensibles a factores climáticos como la temperatura y las precipitaciones. Entre ellas destacan por su repercusión sobre la mortalidad la malaria y el dengue.

La malaria o paludismo es una enfermedad que se transmite de forma natural por la picadura de las hembras de mosquitos del género *Anopheles*. Actualmente el 40 % de la población mundial, es decir, 2400 millones de personas viven en zonas de malaria. La población infectada está entre 300-500 millones de personas y se encuentra en clara expansión. **Aualmente produce una mortalidad de 2 millones de personas, es decir, 7000 fallecimientos diarios, siendo la población infantil especialmente afectada.** Se extiende a lugares donde la temperatura mínima invernal no llega a los 16°C, por lo que un aumento en la temperatura del Planeta **traerá consigo que la enfermedad se extienda a altitudes y latitudes mayores**, por lo que afectará a poblaciones que no se encuentran inmunizadas. A una temperatura de 20 °C, este mosquito necesita 26 días de incubación, pero a 25 °C este tiempo se reduce a 15 días, esto trae consigo una disminución en el tamaño del mosquito y, por tanto, la necesidad de picar más veces para alimentarse que uno de mayor tamaño, con el consiguiente aumento en la transmisión de la enfermedad. Estudios recientes estiman **que a mediados de este siglo podría haber 1 millón más de casos de malaria cada año relacionado con el cambio climático.** Otra enfermedad de similares características es **el dengue**, que se transmite también por la picadura de mosquito, algunos autores afirman que mientras que en 1990 había 1500 millones de personas viviendo en regiones con riesgo de transmisión del dengue, en el año 2085 esta cifra se elevará hasta 5000 ó 6000 millones, lo que corresponde a **un 50-60% de la población mundial** estimada en esa fecha. A estas enfermedades habría que añadir enfermedades transmitidas por otros vectores como las garrapatas, la denominada enfermedad de Lyme y un tipo de encefalitis que se encuentra en expansión en Europa central y septentrional.

> Otros efectos indirectos en salud humana producidos por el cambio climático.

Además de los efectos anteriormente citados habría que considerar otra serie de incidencias en la salud humana relacionadas con el cambio climático. Entre éstos pueden destacarse los siguientes:

- Alteraciones de la ecología local de los **agentes infecciosos del agua** y de los alimentos, produciendo cambios en la incidencia de diarreas y de otras enfermedades infecciosas.
- **Alteraciones de la productividad alimentaria** debido a cambios en el clima lo que desde el punto de vista de salud humana traerá consigo un aumento de la malnutrición y del hambre con el consiguiente perjuicio para el desarrollo de los niños .
- **Sequías e inundaciones**, con incidencia en la cantidad y calidad de las aguas destinadas al consumo humano y con el consiguiente aumento en la concentración de agentes patógenos .



- Subidas del nivel del mar y **desplazamiento de las poblaciones afectadas**, lo que acarreará fenómenos de emigración con la consiguiente mezcla biológica y el aumento de brotes infecciosos y fenómenos de disturbios sociales.
- **Aumento de los niveles de contaminación biológica del aire**, pólenes y esporas, lo que llevará asociado un aumento en las epidemias de asma y de otras enfermedades alérgicas como la rinitis o la fiebre del heno.

En resumen, se producirán **dislocaciones sociales, económicas y demográficas debidas a los efectos del cambio climático sobre las infraestructuras y el abastecimiento de recursos** lo que tendrá amplias consecuencias sobre la **salud pública**, empeoramiento de la salud mental y del nivel de nutrición, enfermedades infecciosas, marginación , etc.

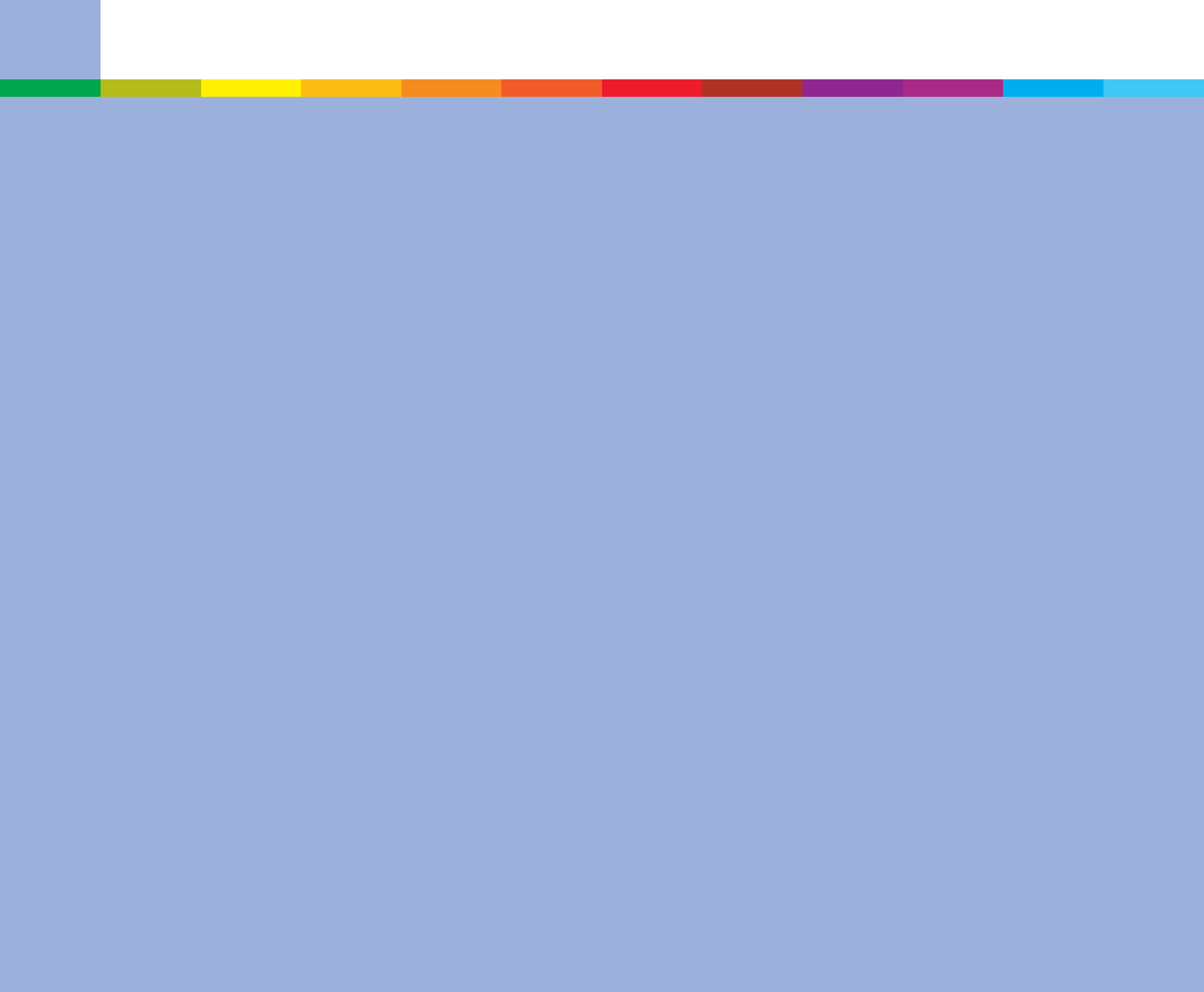
> ***Acciones para combatir el Cambio Climático.***

Ante el panorama desalentador de todas las consecuencias provocadas por los efectos del cambio climático no sólo sobre los sistemas naturales, sino también socio-económicos y sobre la salud humana, el “**Protocolo de Kioto**” (diciembre,

1997) se convierte en la primera herramienta importante de mitigación a nivel mundial. El más famoso tratado medioambiental de nuestros días entró en vigor tras su reciente ratificación por el Parlamento ruso. Han sido necesarios 12 años de lucha que arrancaron en la Cumbre de Río en 1992 para que adquiriese la validez legal tras la retirada en el año 2001 de Estados Unidos, el mayor emisor mundial de gases de efecto invernadero. El objetivo esencial del protocolo es la reducción de un 5,2% de las emisiones de gases de efecto invernadero (fundamentalmente CO₂) respecto al año base (1990). Para ello, impone normas de reducción o estabilización para el periodo 2008-2012 a 39 países desarrollados. Entre ellos, por ejemplo, Japón ha de reducir un 6% sus emisiones y entre todos los países de la Unión Europea un 8%. El Protocolo estipula qué pueden hacer los países para cumplir esos objetivos. **Los mecanismos contemplados** son tres: la **compraventa de emisiones** de gases de efecto invernadero, los proyectos de implementación conjunta y el mecanismo de desarrollo limpio. El primero significa que si un país tiene en el plazo de cumplimiento menos emisiones de lo que se le consiente, puede vender el volumen que le sobra a otro país que no logre reducir lo suficiente. La implementación conjunta regula **proyectos de cooperación** entre países obligados a contener sus emisiones en el Protocolo, de manera que la cantidad de ahorro obtenida gracias a las nuevas instalaciones, respecto a plantas más obsoletas y contaminantes, se lo reparten entre los países participantes del proyecto. Por último, el mecanismo de desarrollo limpio es similar a la implementación conjunta, pero **lo realiza un país desarrollado, obligado a controlar sus emisiones, en uno en desarrollo** que no tiene este compromiso cuantitativo, y el ahorro de emisiones logrado se lo apunta entero el primero.

En España, aproximadamente un 35% del CO₂ emitido procede de combustiones diversas (industriales, domésticas, comerciales, etc.), un 25% de las plantas eléctricas, y alrededor de otro 25% procede del transporte. El Protocolo obliga a España a limitar entre los años 2008 –2012 el crecimiento de los gases de efecto invernadero a un 15% sobre la cifra registrada en 1990 (330 millones de toneladas anuales como máximo), actualmente ya se superan en 40% las emisiones de aquel año. Ahora el paso inmediato en la vía hacia el cumplimiento de los objetivos de Kioto es el Plan Nacional de Asignación de Emisiones, para estabilizar y contener los gases de efecto invernadero entre los años 2005-2007.

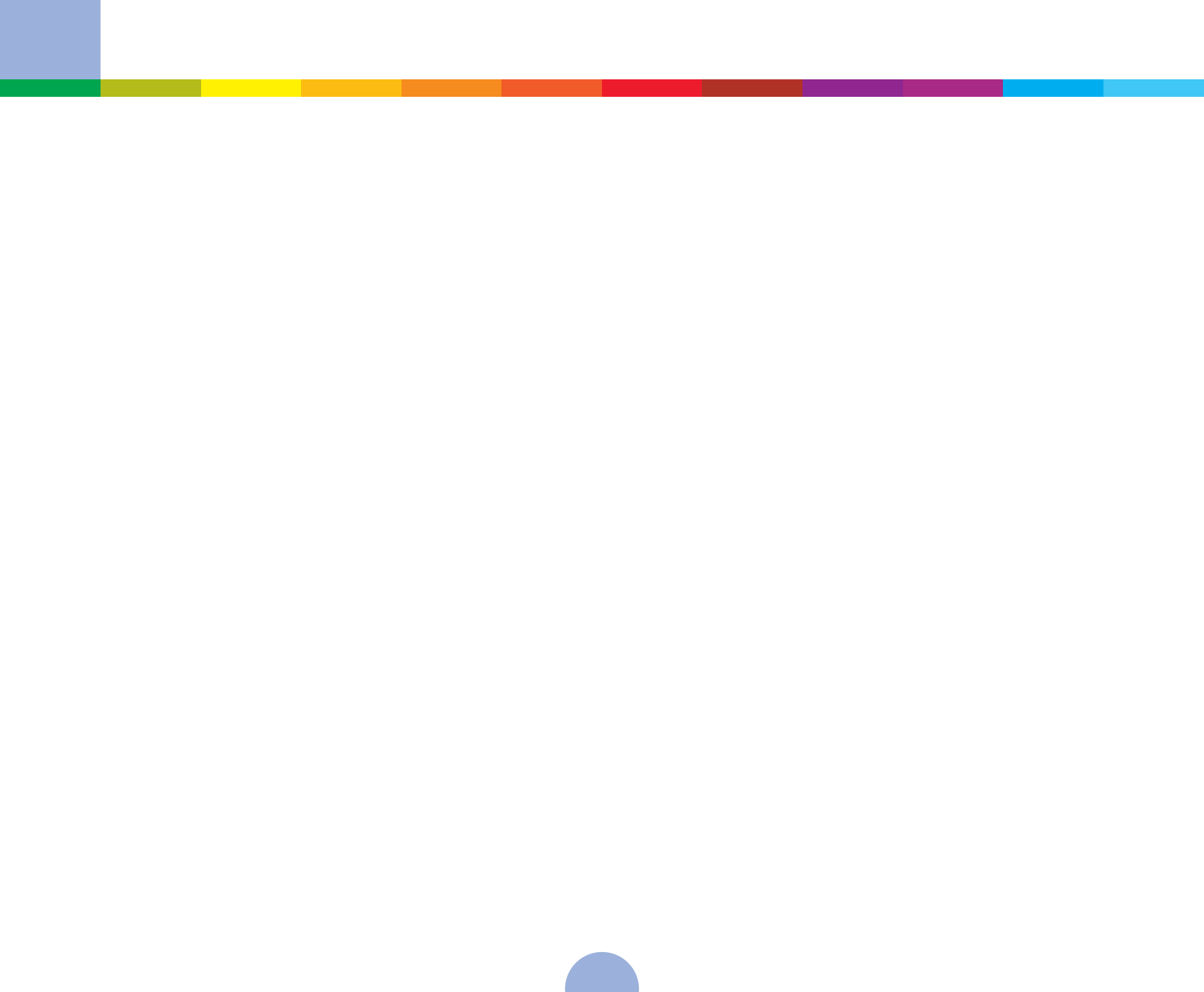
El Protocolo no es la solución para el cambio climático. Sólo constituye un tímido paso inicial para cambiar la tendencia al crecimiento de las emisiones de los países desarrollados, es necesario y no menos importante, hacer llegar a los ciudadanos qué supone el cambio climático y cómo va a afectarle, ya que, en buena medida, está motivado por las actividades derivadas de nuestra forma de vida. Queda mucho por hacer para crear una mayor conciencia social de estos riesgos y promover políticas y acciones concretas, especialmente en el ámbito local. Se trata, por tanto, de realizar una **transformación hacia sistemas de producción/consumo y hábitos sostenibles que permitan conservar nuestro propio bienestar y el de generaciones venideras a través de un medioambiente saludable.**



2

capítulo

**CONCEPTOS BÁSICOS RELACIONADOS
CON EL SUPUESTO PRÁCTICO DE
CONTAMINACIÓN ENERGÉTICA.**



II. CONCEPTOS BÁSICOS RELACIONADOS CON EL SUPUESTO PRÁCTICO DE CONTAMINACIÓN ENERGÉTICA.

4. Conceptos generales sobre contaminación acústica.

4.1. Algunas definiciones sobre contaminación acústica.

Se define movimiento ondulatorio como aquel en que las partículas repiten la vibración del foco transmitiendo al medio la energía mecánica vibratoria. Se trata pues de un modo de contaminación física. Los tipos fundamentales de este tipo de contaminación son el ruido, las vibraciones y los ultrasonidos.

El ruido es un **sonido** que puede producir efectos fisiológicos no deseados sobre una persona o grupo de personas. Entendiendo por sonido como un movimiento vibratorio longitudinal (aquel en el que las partículas vibran en la misma dirección en la que se produce la propagación) que necesita un medio natural para propagarse. El sonido se transmite mediante cambios de presión y a una velocidad que depende del medio y de la temperatura. Normalmente, a mayor densidad del medio mayor velocidad de propagación. Como se trata de una onda, además de la velocidad de propagación, otra característica diferenciadora de los distintos sonidos es su frecuencia. El oído humano capta ondas entre 16 y 20.000 Hz.

> **Características físicas del sonido.**

El sonido se caracteriza por la intensidad sonora (I) que se define como la energía recibida por unidad de superficie y unidad de tiempo. La unidad de medida del sonido se realiza con el denominado **nivel sonoro (L)** que se obtiene al comparar la intensidad del sonido analizado (I) con otra intensidad que se toma como patrón ($I_0 = 10^{-12} \text{ watt/m}^2$) $L = \log I/I_0$ y se mide en belios. **El decibelio (dB)** será, por tanto, $L = 10 \log I/I_0$. Pero ocurre que la sensibilidad auditiva varía con la frecuencia, lo que hace que existan diferentes escalas. Si se elige la A , es decir, la que corrige frecuencias altas y bajas, que es la que más se asemeja al oído humano, se hablará de dB (A). Si la corrección se hace para las muy bajas frecuencias, estaremos con dB(B) y si se trata de una respuesta prácticamente lineal nos referiremos a los dB(C).



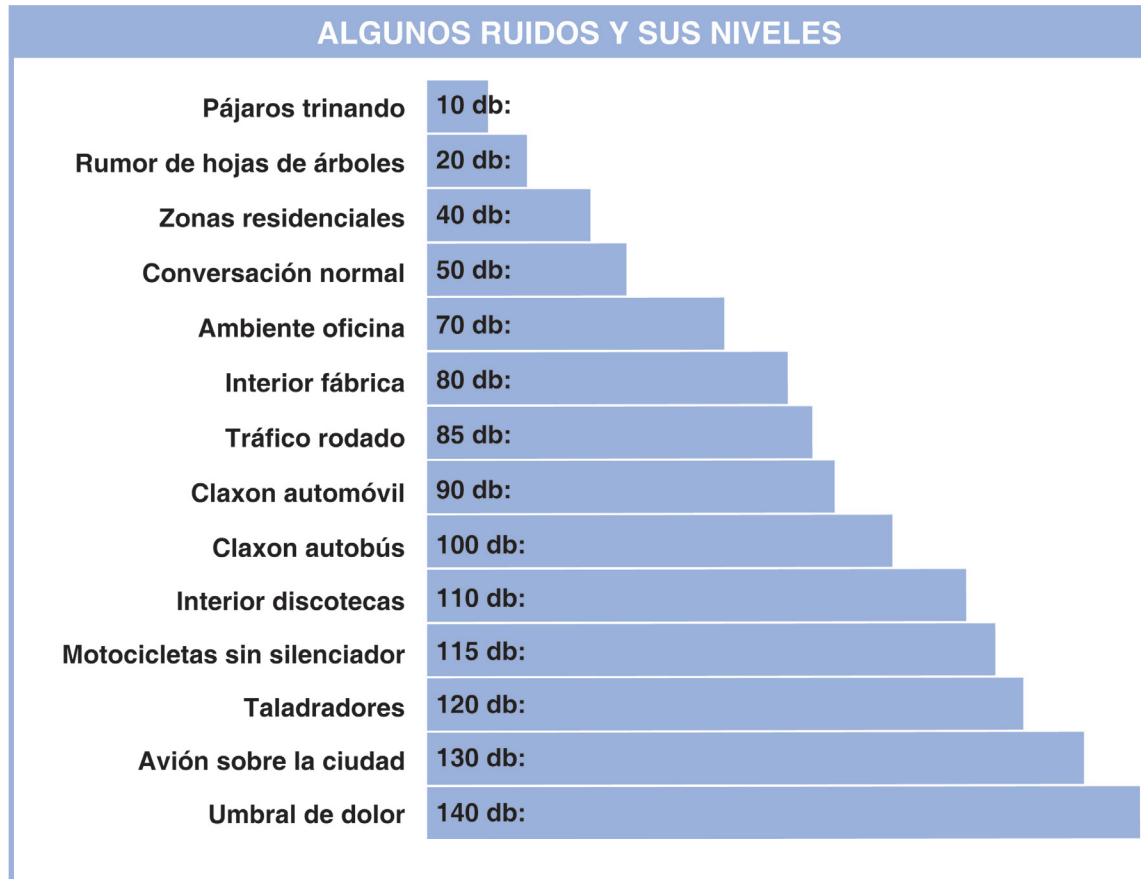


Figura 30.
Distintos sonidos y sus niveles.

Debido a que la energía vibratoria no es constante a lo largo del tiempo, se introduce el concepto de nivel equivalente (**Leq o EN**) que **representará la energía vibratoria recibida durante el tiempo considerado y promediada en ese tiempo**. Así por ejemplo, el nivel equivalente en 8 horas se refiere a la energía recibida en 8 horas y promediada, como si fuese constante, en ese tiempo.

Desde un punto de vista general, las principales fuentes de contaminación sónica hay que buscarlas en la industria, el **tráfico rodado, ferrocarril, tráfico aéreo, ruido procedente del sector de la construcción y obras públicas** y otras fuentes. A las anteriores y en el interior de los locales hay que añadir el producido por electrodomésticos, radio, televisión, conversaciones altas, etc.

Según un estudio realizado por el Instituto del Ruido en Londres, para un área urbana, el **80 % del ruido estaría provocado por el tráfico rodado**, un 4 % por el ferrocarril, el 10 % se debería a la industria y un 6 % correspondería al de varios.

Hay que tener en cuenta que la sensación del ruido, aunque se puede medir con un sonómetro, es subjetiva. No obstante se considera intolerable el ruido producido por el despegue de un avión militar a 30 m (140dB) o la sala de máquinas de un buque (120 dB); se toma como muy ruidosa la sensación producida por una sala de imprenta (100 dB) o por un camión pesado a 6 m (90dB); ruidoso es una calle con mucho tráfico (80dB), un aparato de radio a elevado volumen (70dB), o el existente en un restaurante (60dB); poco ruidoso es una conversación a 1m (50 dB) o la existente en un área residencial durante la noche (40 dB) y silencioso es, por ejemplo, el nivel de fondo de estudios de TV (20dB).

> **El Ruido en España.**

Según diversos estudios realizados en los últimos años la contaminación sonora afecta gravemente a la calidad de vida de los españoles. Según un informe de la OCDE 28 millones de españoles estamos sometido a niveles de ruido de tráfico por encima de 55 dB(A); quince millones por encima de los 60 dB(A) y **9 millones superan el umbral de los 65 dB(A)**. Los datos de una campaña de medidas realizadas en el año 1993 en doce ciudades españolas, indican que el 95% de las viviendas están sometidas a un nivel equivalente diurno (NED) superior a 55 dB(A) y un 97 % superan el nivel equivalente nocturno (NEN) de 45 dB(A). Un informe del Centro Superior de Investigaciones Científicas señala que en el 68 % de Madrid se superan los 68 dB(A) entre las 10 y las 18 horas. Diversas encuestas de opinión pública revelan el grave problema del ruido en España en las grandes ciudades, así un estudio del MOPTMA muestra que para el 40 % de los ciudadanos éste es el problema urbano más importante. Otro estudio similar indica que para los habitantes de una ciudad de más de 500.000 habitantes el ruido es un problema grave o muy grave.

En la **figura 31** se muestra la evolución temporal de los niveles de ruido diurno en Madrid. Como puede verse la superación del umbral marcado por la OMS ocurre prácticamente a diario.

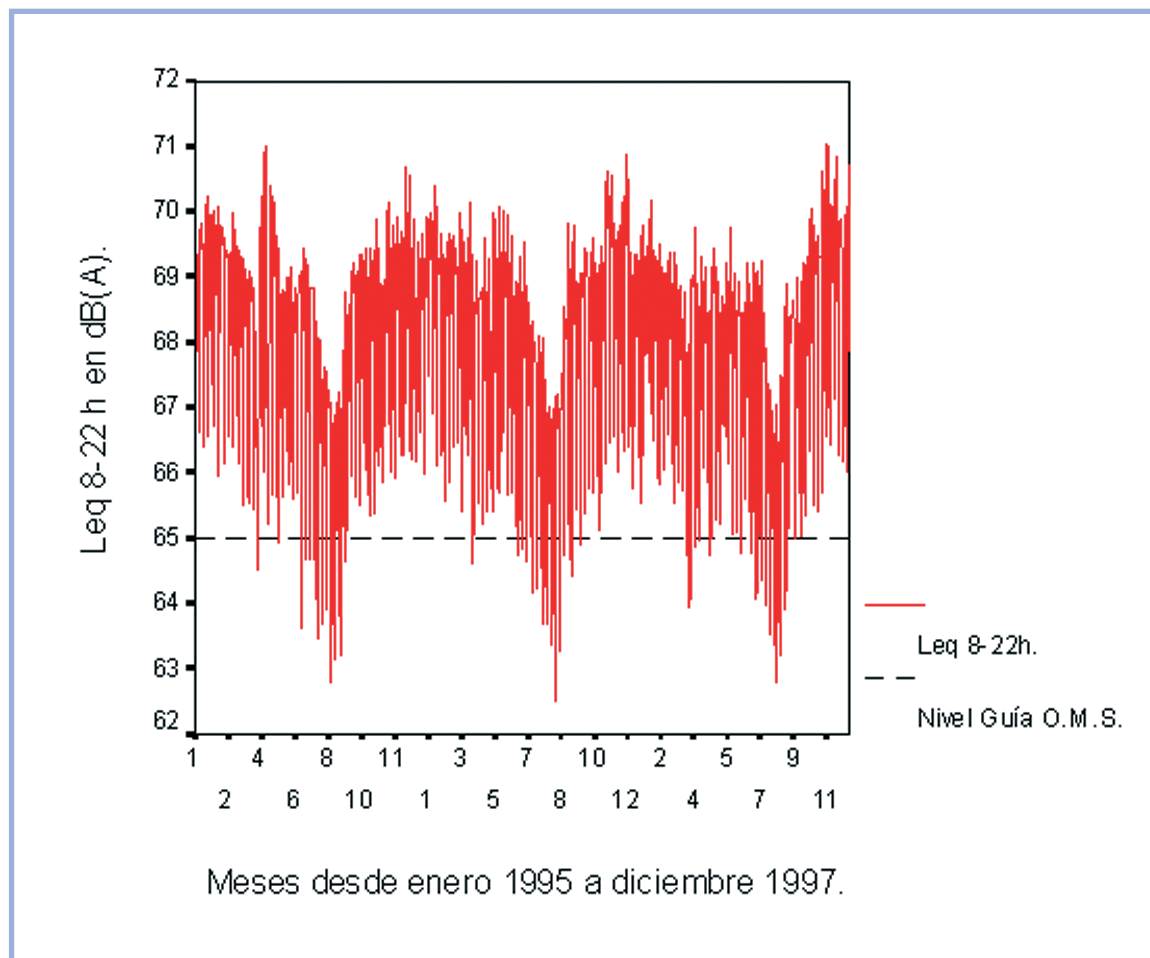
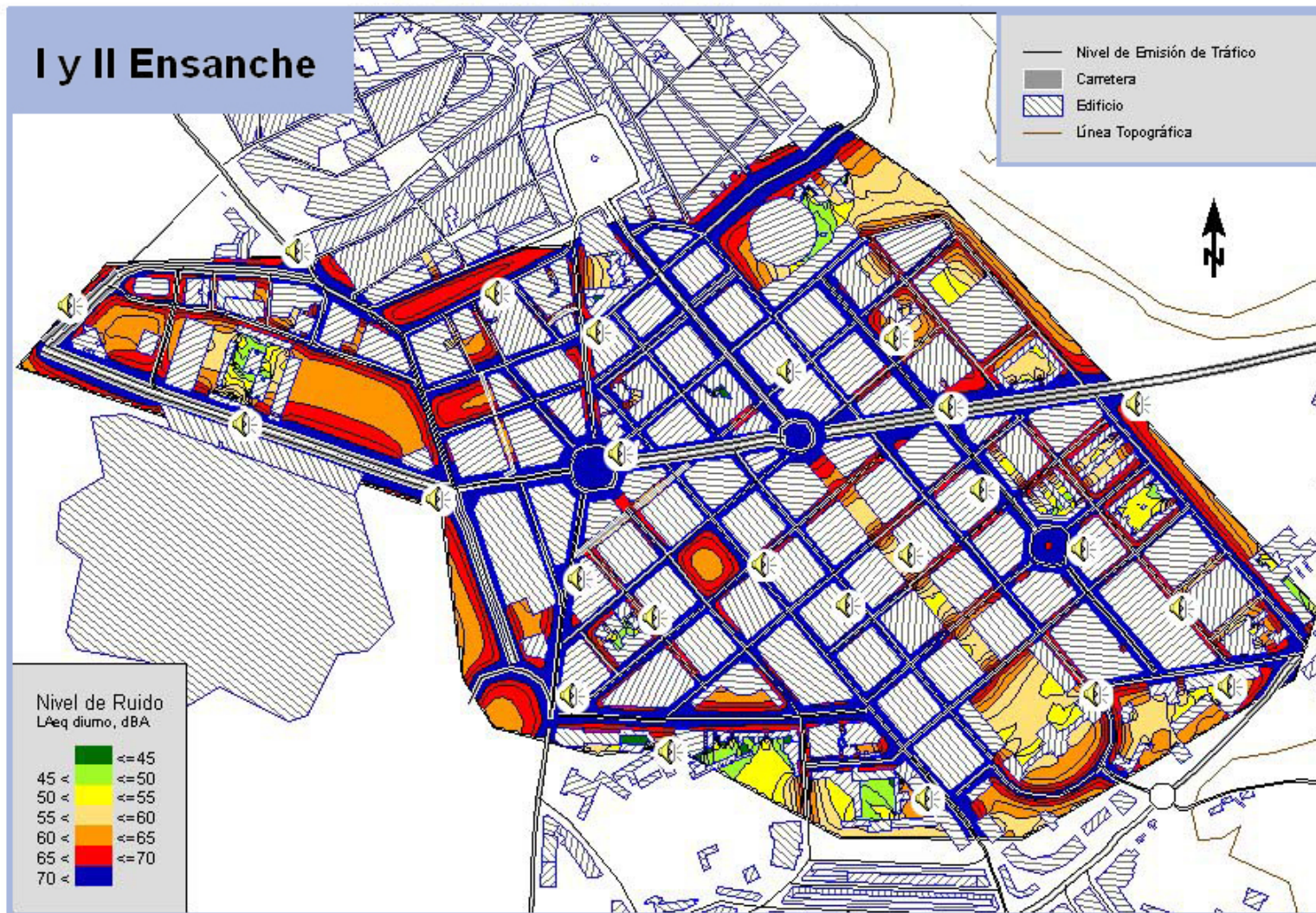


Figura 31.
Evolución de los niveles de ruido diurno en Madrid.

I y II Ensanche



4.3

Efectos del ruido sobre la salud. Efectos auditivos y no auditivos del ruido.

Hay que tener en cuenta que para cuantificar los efectos del ruido hay que valorar tanto la intensidad del ruido con la duración del mismo, basándose en este hecho se establece la regla de la energía constante. Así la regla de 3 dB permite un aumento de 3dB en el nivel de un sonido constante para cada reducción a la mitad de duración. Según esta regla **es equivalente estar sometido a 88 dB(A) durante cuatro horas que a 85 dB(A) durante ocho.**

Al analizar los efectos del ruido sobre las personas hay que distinguir entre los denominados trastornos auditivos del ruido y trastornos no auditivos.

> Trastornos auditivos del ruido.

Antes de comenzar a definir lo que se denomina trastorno de audición es preciso señalar el significado de algunos conceptos. En primer lugar, se define **audición normal** como la capacidad de detectar sonidos en la gama de 16 a 20.000 Hz. Esta audición normal varía según las personas. Así, en esta audición normal influye la edad. Está comprobada la pérdida de audición con la edad, lo que se denomina presbiacusia. Suele darse generalmente en las frecuencias altas y afecta a ambos oídos. Otro factor que varía de unas personas a otras está relacionado con factores ambientales, así la socioacusia tiene en cuenta que las mujeres tienen mejor oído que los hombres en los países industrializados. El **nivel de audición** se refiere al nivel del umbral audiométrico de un individuo y se establece según la normativa vigente (ISO 1975,d). Una vez determinado el nivel de audición se puede calcular el **desplazamiento del umbral inducido por el ruido** y es la cantidad del pérdida de audición atribuible al ruido, es decir, descontando otros efectos como la presbiacusia o la socioacusia. Se denomina **trastorno de audición** al nivel de audición en el cuál los individuos comienzan a tener problemas en la vida normal y varía según los países. Por ejemplo, en U.S. se habla de trastorno de audición cuando el nivel de audición está por encima de los 26 dB para frecuencias entre 500-2000 Hz, mientras que en el Reino Unido este umbral se fija en 30 dB para frecuencias entre 1000 y 2000 Hz.

Además de los efectos relacionados con el trastorno de la audición existe lo que se denomina **efecto máscara** que consiste en que un sonido impide la percepción parcial de otros, especialmente la comunicación hablada. Este efecto puede traer consigo el aislamiento de las personas sometidas a él, la disminución en la eficacia del trabajo e incluso puede provocar accidentes. Los **acúfenos** se refieren a los ruidos que aparecen en el interior del oído por alteración del nervio auditivo. Se le ha relacionado fundamentalmente con el ruido de tráfico y puede provocar ansiedad y cambios de carácter. Por último

señalar la **fatiga auditiva** que tiene en cuenta el déficit temporal de la sensibilidad auditiva y suele estar provocado por ruidos continuos a partir de los 90 dB(A).

> **Trastornos no auditivos del ruido.**

A los trastornos auditivos anteriormente citados hay que añadir otros trastornos que tienen su origen en estar sometidos a dosis altas de ruido. Así, por ejemplo, un estudio realizado en Francia sobre 2000 personas sometidas a niveles de ruido superiores a 85 dB(A) mostraron una serie de patologías que no se daban en otro grupo similar de personas pero no expuestas a esos niveles de ruido. Se detectó que los expuestos presentaban un 12 % más de **problemas cardiovasculares**, un 37 % más de **problemas neurológicos** y un 10 % más de problemas digestivos. Otro estudio similar realizado con personas en las proximidades del aeropuerto de Los Ángeles mostraron un aumento del 18 % sobre la media de enfermedades vasculares con resultado de muerte. **La relación entre ruido e hipertensión arterial** ha quedado clara en diversos estudios y de hecho, en la Conferencia de Estocolmo sobre el ruido, en 1988, el ruido aparece como un factor de riesgo de hipertensión arterial. Ha quedado demostrado que ruidos intensos entre 95 y 105 dB(A) son capaces de provocar una vasoconstricción de las arterias con el consiguiente aumento de la presión arterial. Esta relación entre el ruido y la actividad cardiovascular tiene su **efecto sobre el sueño**, ha quedado demostrado que ruidos con NEN de 35 dB(A) o puntas superiores a 50 dB(A) impiden conciliar el sueño paradójico y provocan fatiga nerviosa.

Existen multitud de estudios que relacionan el **ruido con alteraciones psíquicas** tales como inseguridad, inquietud, falta de concentración, astenia, agresividad, irritabilidad, alteraciones del carácter, alteraciones de la personalidad y trastornos mentales. Mediante estudios epidemiológicos el ruido está relacionado con los internamientos en psiquiátricos, con aumento de suicidios, etc. Otros trabajos de similares características muestran la influencia del **ruido sobre el comportamiento solidario**, de modo que ha quedado demostrado que el nivel de ayuda entre vecinos disminuye según aumenta el nivel de ruido ambiental. Pero el ruido es también causante del denominado **Stress sonoro** relacionado con ruidos moderados pero continuos. Según la OMS el ruido causa distintas reacciones a lo largo del eje hipotalámico-hipofisiosuprarrenal, tales como un aumento de la adrenocorticotrófica y de los corticosteroides. En experiencias de laboratorio se han provocado formas agudas de estas reacciones con niveles de ruidos moderados. También el **ruido está relacionado con el embarazo**. Según estudios realizados en la Universidad de París en aeropuertos de todo el mundo, las personas gestantes que viven en las proximidades de los aeropuertos presentan una tasa más elevada de malformaciones y de niños que nacen muertos que aquellas no sometidas a esos niveles de ruido. Por último son numerosos los trabajos que estudian los efectos del

ruido sobre la población escolar. Éstos van desde efectos en el rendimiento hasta una mayor agitación psicomotora, prolongación el tiempo de reacción a estímulos, reducción de la habilidad de concentración etc. Algunos trabajos sitúan el umbral de nocividad en 55 dB(A) para la realización de tareas complejas.

SISTEMA VEGETATIVO HORMONAL

El sistema auditivo está estructurado de forma que las señales acústicas pueden inducir además agudos efectos fisiológicos. Una señal puede transmitirse a través de las conexiones neuronales al cortex auditivo - para oír - sino también al sistema reticular arousal (RAS) y al hipotálamo, centro de regulación de las actividades automáticas en el cuerpo. La activación de estos sistemas activa mecanismos de estrés fisiológico.

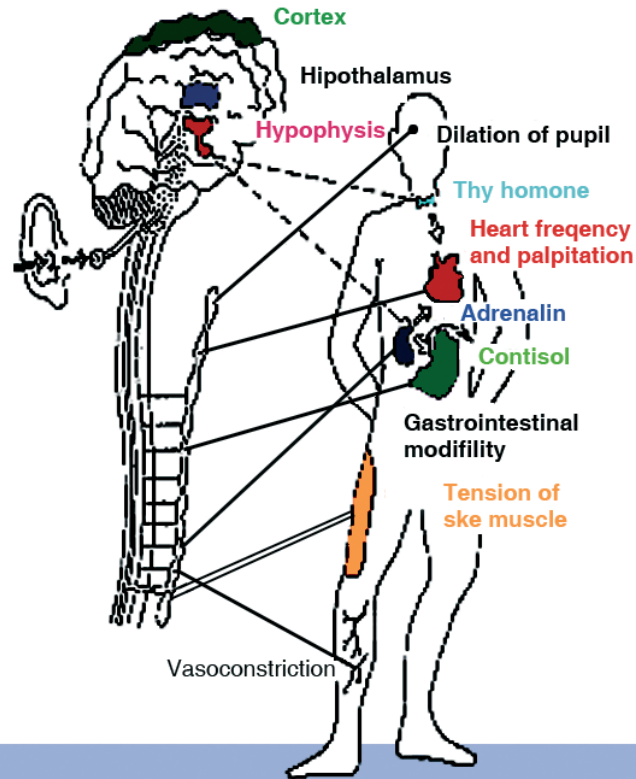


Figura 33. Efectos sobre el sistema vegetativo hormonal producido por el ruido.

Otros trabajos recientes relacionan trastornos como los anteriormente descritos para niveles de ruido de tráfico. Nuevamente un ruido poco intenso durante una larga exposición puede provocar importantes problemas en salud. Así se ha demostrado que personas expuestas a ruido de tráfico presentan **mayor tensión arterial, más cantidad de adrenalina en sangre, plaquetas, cortisol y otro tipo de sustancias** relacionadas con la respuesta del denominado sistema reticular arousal (RAS) al estrés. El mecanismo por el que se desencadenan este tipo de respuestas ante el ruido aparece en la **figura 33**. Estudios realizados en la ciudad de Madrid muestra que el ruido es el factor ambiental que presenta una mayor asociación con los ingresos hospitalarios, por encima de los contaminantes atmosféricos químicos tradicionales.

4.4. Legislación.

Al igual que ocurría en contaminación atmosférica química hay que distinguir entre niveles de emisión y de inmisión en contaminación acústica, teniendo estos términos la misma afección que allí tenían.

Cabe decir que en cuanto a los niveles de emisión existen numerosas Directivas Europeas, con su correspondiente transposición a la legislación española, que tratan sobre los niveles de emisión de diferentes máquinas, tanto industriales como domésticas. En inmisión, a nivel nacional existe la denominada Norma Básica de Edificación (NBE-CA-88) que establece las condiciones acústicas mínimas exigibles a los edificios y recomienda limitaciones a la ubicación de actividades ruidosas en las cercanías de zonas habitadas. También a nivel general se aplica el Real Decreto de Evaluación del Impacto Ambiental (RDL 1302/86) que establece la necesidad de controlar la incidencia de ruidos y vibraciones. Lo que si hay son diversas normativas tanto a nivel de Comunidades Autónomas como normativas municipales. Así, por ejemplo, la ordenanza Municipal sobre contaminación acústica del Ayuntamiento de Madrid (Ordenanza de protección de la atmósfera contra la contaminación de la atmósfera por formas de energía (BOCM suplemento al número 148, Fascículo I, del 23 de junio de 2004). Téngase en cuenta que estos valores son temporales ya que la entrada en vigor del Decreto Ley 37/2003, mas adelante referenciado, exigirá el establecimiento de niveles de día, tarde y noche, con el fin de elaborar mapas estratégicos conforme a la Directiva del Parlamento Europeo.

La Ordenanza del Ayuntamiento de Madrid, **Tabla 10**, define cinco áreas acústicas y limita los niveles sonoros ambientales en diurnos y nocturnos e intermedios de dichas áreas. Siendo el primero el valor límite para nuevos desarrollos urbanísticos y el segundo para suelo ya consolidado como valor objetivo a conseguir.

Tipo	Área	Uso	Día dB(A)	Noche dB(A)	Intermedio dB(A)
I	De silencio	Sanitario, reposo, descanso	50 - 60	40 - 50	45 - 55
II	Levemente ruidosa	Residencial, educativo, cultural, religioso y zonas verdes	55 - 65	45 - 55	50 - 60
III	Tolerablemente ruidosa	Hostelero, oficinas, deportivo, restaurantes, cafeterías y comercios	65 - 70	55 - 60	60 - 65
IV	Ruidosa	Servicios públicos, uso industrial, intercambiador transporte	70 - 75	60 - 70	65 - 75
V	Especialmente ruidosa	Transporte aéreo, actuaciones al aire libre, ferrocarriles y carreteras	75 - 80	65 - 75	70 - 80

Tabla 10. Ordenanza de protección de la atmósfera contra la contaminación de la atmósfera por formas de energía

Cabe citar las recomendaciones de la OMS que indica como máximo aceptable de exposición un nivel de 65 dB (A) durante el día y 55 dB (A) durante la noche.

Recientemente el 18 de noviembre de 2003 aparece publicado en el B.O.E. número 276 la **Ley 37/2003 de 17 de noviembre del Ruido**, que viene a ser una trasposición de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. A grandes rasgos esta **Ley tiene por objeto prevenir, vigilar y reducir la contaminación acústica**, para evitar y reducir los daños que de ésta puedan derivarse par la salud humana, los bienes y el medio ambiente. En: www.boe.es/boe/dias/2003-11-18/pdfs/A40494-40505.pdf aparece recogida esta Ley.

4.5

Medidas preventivas y correctoras para el ruido.

Las medidas **preventivas** se basan en la **aplicación de planes que prevengan la contaminación** tales como una adecuada planificación de los usos del suelo con una clara separación entre las zonas industriales y las residenciales, es decir, la existencia de una **planificación urbana** adecuada; la aplicación de la legislación antes citada para el desarrollo de una arquitectura urbana que contemple la adecuada insonorización de las viviendas y de las medidas de apantallamiento y atenuación del ruido; aplicación de los **estudios de impacto ambiental** previos a la instalación de determinadas actividades y usos del suelo capaces de producir contaminación acústica; utilización de sistemas que supongan una disminución de las emisiones de determinadas actividades tanto industriales como de tráfico; **concienciación de los ciudadanos** sobre los problemas que para la salud lleva la exposición al ruido.

En cuanto a las **medidas de actuación** están aquellas que se basan en la limitación del ruido en la fuente emisora y en la protección de la población expuesta.

Para el caso del ruido de tráfico algunas medidas preventivas y de corrección podrían ser:

> **Medidas de control para el ruido del tráfico.**

Se ha citado anteriormente que el ruido producido en una gran ciudad el 80 % se debe al tráfico. Las medidas de control para el ruido del tráfico pasan por:

Medidas de control para el ruido del tráfico

Reducción del ruido en la fuente:

Sobre **los vehículos**, pueden ser **activas** como la utilización de elementos motrices más silenciosos o **pasivas** como la aplicación de elementos que impidan que el ruido se propague al exterior.
Sobre **la vía**, utilizando tipos de pavimento poco ruidosos.

Reducción del ruido en la vía de transmisión:

Estas medidas pasan por el alejamiento de los receptores y por el **apantallamiento** acústico mediante diques laterales, pantallas vegetales o la creación de vías cubiertas o semicubiertas.

Reducción del ruido en la recepción:

Contempla la insonorización de las viviendas mediante la construcción con materiales adecuados, la creación de cámaras aislantes, las dobles ventanas y el techo flotante, entre otras medidas.



Figura 34.
Ejemplo de pantallas antirruído.



5.

El espectro electromagnético. Radiaciones ionizantes y no ionizantes.

Es sabido que toda carga eléctrica en movimiento genera un campo magnético. Una onda electromagnética se caracteriza por la existencia de un campo eléctrico E y un campo magnético B que se propagan perpendicularmente entre sí y a la vez son perpendiculares a la dirección de propagación de la onda, como puede verse en la **figura 35**. El campo eléctrico se mide en V/m mientras que el campo magnético se mide en teslas.

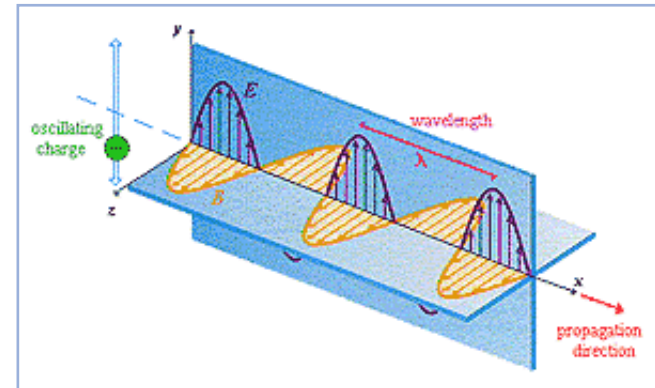


Figura 35.

Esquema de una onda electromagnética

Estas ondas se propagan en el vacío a una velocidad de 300.000 km/s. La energía que transportan estas ondas es función de la longitud de onda (λ), según se citó anteriormente y es la Ley de Planck la que marca la energía que transportan estas ondas de la forma $E = h c / \lambda$ en la que E es la energía, h la denominada constante de Planck y c la velocidad de la luz en el vacío. O bien en función de la frecuencia $E = h \nu$ siendo ν la frecuencia, ya que $\nu = c / \lambda$. Estas ondas debido a su carácter ondulatorio son muy penetrantes. La clasificación de las ondas en función de las distintas longitudes de onda constituye el denominado espectro electromagnético, como parece en la **figura 36**. En él se observa que las ondas más energéticas son las de menor longitud de onda y por tanto mayor frecuencia, mientras que las menos energéticas son las de mayor longitud de onda o menor frecuencia. Obsérvese que la **luz visible es una onda electromagnética** con longitudes de onda entre los 400 (violeta) y 700 (rojo) nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Las ondas electromagnéticas con longitudes de onda por debajo de los 400 nm constituyen el ultravioleta y las que tienen una longitud de onda por encima de los 700 nm se denominan el infrarrojo. La radiación ultravioleta (UV) es, por tanto, más energética que la infrarroja.

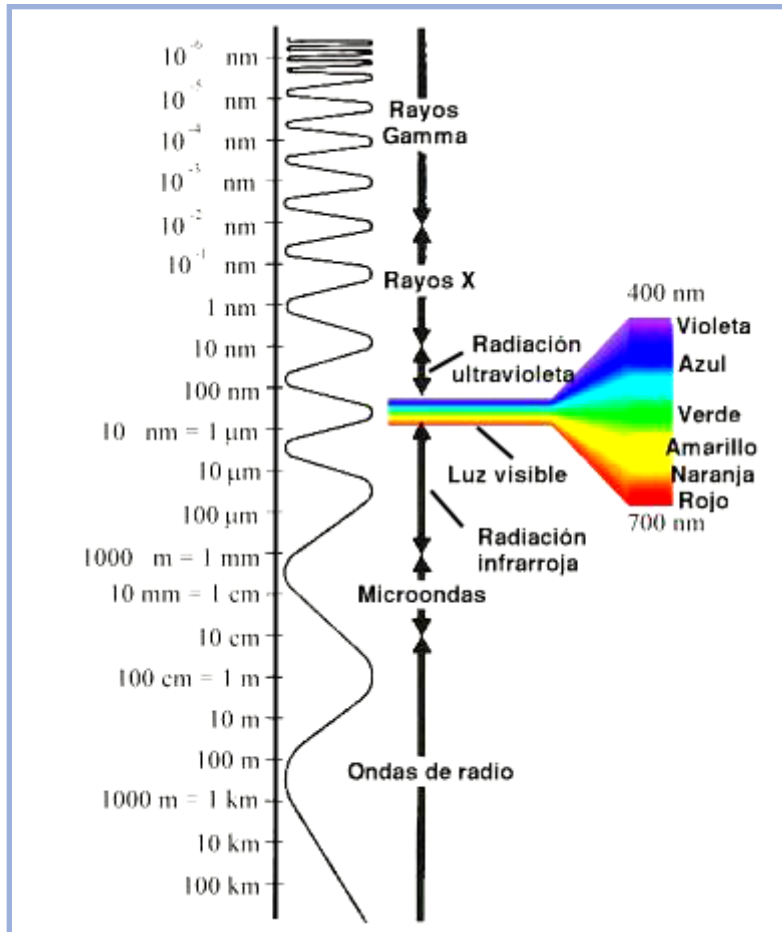


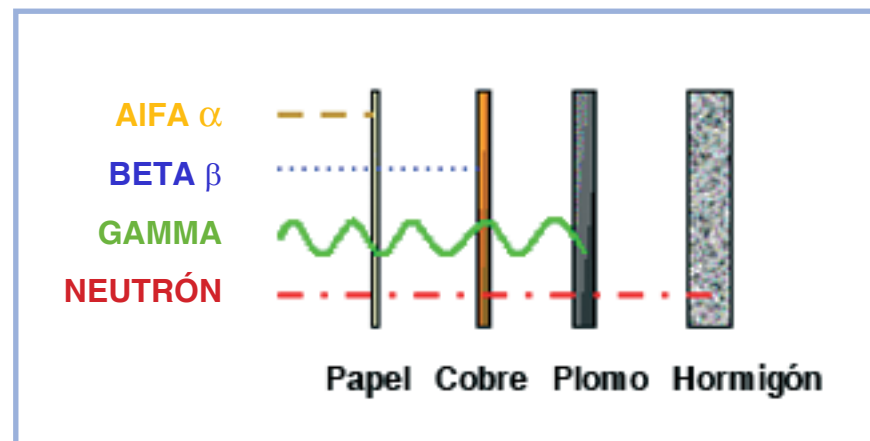
Figura 36.
Espectro electromagnético

5.1 Radiaciones ionizantes y no ionizantes.

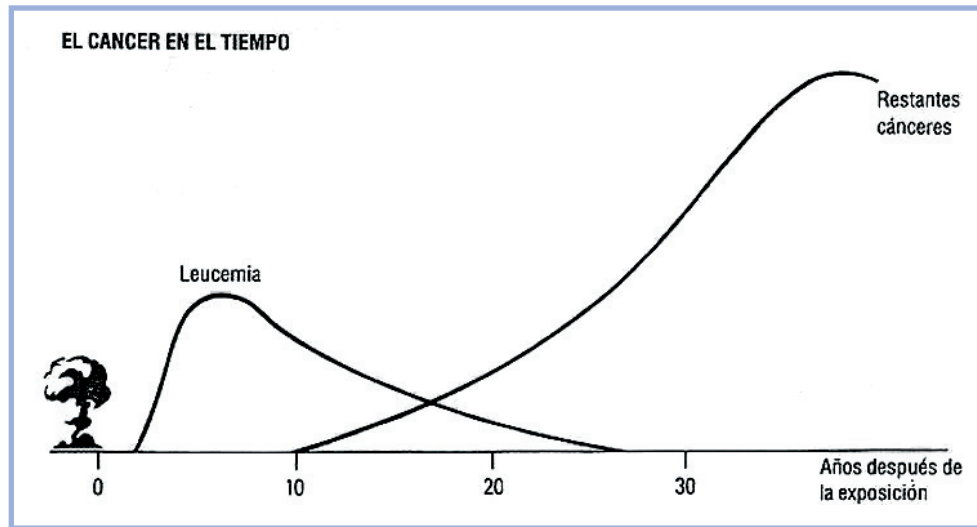
Las radiaciones ionizantes se denominan así porque son capaces de **ionizar átomos o moléculas** sobre las que inciden, por tanto, son capaces de alterar el equilibrio químico y son especialmente perjudiciales, ya que al ser muy energética

pueden incluirse destruir la molécula de ADN y tener efectos genotóxicos importantes. En cuanto a **su naturaleza se pueden clasificar en partículas y en ondas. Partículas son las radiaciones α y la radiación β** . La radiación α está constituida por un núcleo de He, son por tanto de gran tamaño y poseen una gran energía. Debido a su tamaño son poco penetrantes, una delgada hoja de papel las detiene, pero son muy ionizantes. La radiación β está constituida por electrones, por lo tanto su poder de penetración es mayor (hace falta una lámina de aluminio para detenerla y es menor su efecto ionizante. En cuanto a las **ondas** la de mayor energía, capaces de ionizar la materia, son fundamentalmente la **radiación γ y los rayos x**. Como son ondas son muy penetrantes aunque su poder de ionización no es muy elevado.

Figura 37.
Poder de penetración de las
diferentes radiaciones.



En cuanto a su origen pueden tener un **origen natural** como la emisión de los propios materiales radiactivos o los rayos cósmicos, pero la principal fuente suele ser de **origen artificial** relacionado con la utilización de cierto tipo de métodos de radiodiagnóstico o bien exposición en centrales nucleares, etc. Sus efectos en salud dependen de la naturaleza de la exposición y del tiempo de exposición y pueden provocar la muerte en pocos instantes como la exposición en una fuga nuclear o provocar efectos a largo plazo (leucemias o tumores) o en otros casos provocar malformaciones. Lo que si está claro es que cuanto mayor se el tiempo de exposición y más energética la radiación, más probable es que se produzcan efectos sobre la salud y más graves serán éstos.


Figura 38.

Evolución temporal de distintos tipos de cánceres.

Las radiaciones no ionizantes: Se denominan así porque su energía nos suele ser suficiente, al incidir sobre la materia, de arrancar electrones de átomos o moléculas y, por tanto, **no ionizan la materia**. Su origen natural está en la propia Tierra y en el Sol. En cuanto a sus efectos estos varían en función del tiempo de exposición y de la energía de la radiación. Así por ejemplo, se consideran radiaciones no ionizantes las radiaciones ultravioleta menos energéticas, suelen producir efectos fotoquímicos, quemaduras, etc. Las radiaciones infrarrojas y las microondas, que tienen menos energía que la propia luz visible, pueden inducir corrientes que provocan calentamiento, alteraciones del sistema nervioso, etc. Por debajo de estas ondas están aquellas por debajo de las ondas de radio con frecuencias entre 10 kHz y hasta 50 Hz, este tipo de ondas inducen corrientes débiles que pueden provocar efectos celulares diversos.

5.2
Campos electromagnéticos de baja frecuencia.

En los últimos años ha cobrado gran importancia los denominados campos electromagnéticos de baja frecuencia (CEM) relacionados con instalaciones y tendidos eléctricos de frecuencias del orden de 50 Hz. Sus efectos en salud están en la actualidad muy debatidos, ya que en algunos casos se ha relacionado este tipo de instalaciones con cierto tipo de

patologías como un **aumento de los casos de leucemia infantil** en lugares próximos líneas de altas tensión. Estos campos pueden tener un origen natural como el de la propia Tierra capaz de generar un campo magnético estable de 60 μT o bien relacionados con electrodomésticos. Los efectos que provocan sobre la salud están relacionados con la creación de corrientes inducidas de baja intensidad pero que podrían estar relacionados con cierto tipo de patologías.

En la **tabla 11**, se muestra el campo magnético creado por diferentes electrodomésticos a diferentes distancias. Téngase en cuenta que el valor estimado como límite de seguridad por la OMS es de 100 μT .

Aparato eléctrico	A una distancia de 3 cm (μT)	A una distancia de 30 cm (μT)	A una distancia de 1 m (μT)
Secador de pelo	6 – 2000	0,01 – 7	0,01 – 0,03
Máquina de afeitar eléctrica	15 – 1500	0,08 – 9	0,01 – 0,03
Aspiradora	200 – 800	2 – 20	0,13 – 2
Luz fluorescente	40 – 400	0,5 – 2	0,02 – 0,25
Horno de microondas	73 – 200	4 – 8	0,25 – 0,6
Radio portátil	16 – 56	1	< 0,01
Horno eléctrico	1 – 50	0,15 – 0,5	0,01 – 0,04
Lavadora	0,8 – 50	0,15 – 3	0,01 – 0,15
Hierro	8 – 30	0,12 – 0,3	0,01 – 0,03
Lavavajillas	3,5 – 20	0,6 – 3	0,07 – 0,3
Computadora	0,5 – 30	< 0,01	
Frigorífico	0,5 – 1,7	0,01 – 0,25	<0,01
Televisor de color	2,5 - 50	0,04 – 2	0,01 – 0,15

En la mayoría de los electrodomésticos, la intensidad del campo magnético a una distancia de 30 cm es considerablemente inferior al límite recomendado para el conjunto de la población de 100 μT .

Tabla 11. Fuente: Oficina federal alemana de seguridad radiológica (Bundesamt für Strahlenschutz, BfS), 1999. (La distancia de operación normal se indica en negrita.)

En la **tabla 12**. Se muestran las diferentes exposiciones en comparación con el campo magnético terrestre, estático, y diversos campos en diversos hogares.

Fuente	Exposición máxima típica de la población	
	Campo eléctrico (V/m)	Densidad de flujo magnético (μT)
Campos naturales	200	70 (campo magnético terrestre)
Red eléctrica (en hogares que no están próximos a líneas de conducción eléctrica)	100	0,2
Red eléctrica (bajo líneas principales de conducción eléctrica)	10 000	20
Trenes y tranvías eléctricos	300	50
Pantallas de televisión y computadora (en la posición del usuario)	10	0,7
	Exposición máxima típica de la población (W/m^2)	
Transmisores de televisión y radio		0,1
Estaciones base de telefonía móvil		0,1
Radares		0,2
Hornos de microondas		0,5

Tabla 12. Fuente: Oficina Regional de la OMS para Europa

En la **figura 39** se muestra la disminución con la distancia del campo magnético producido por diversas líneas de alta tensión de diferentes voltajes.

Valores medios del campo magnético (μT) de las líneas eléctricas aéreas medido a diferentes distancias

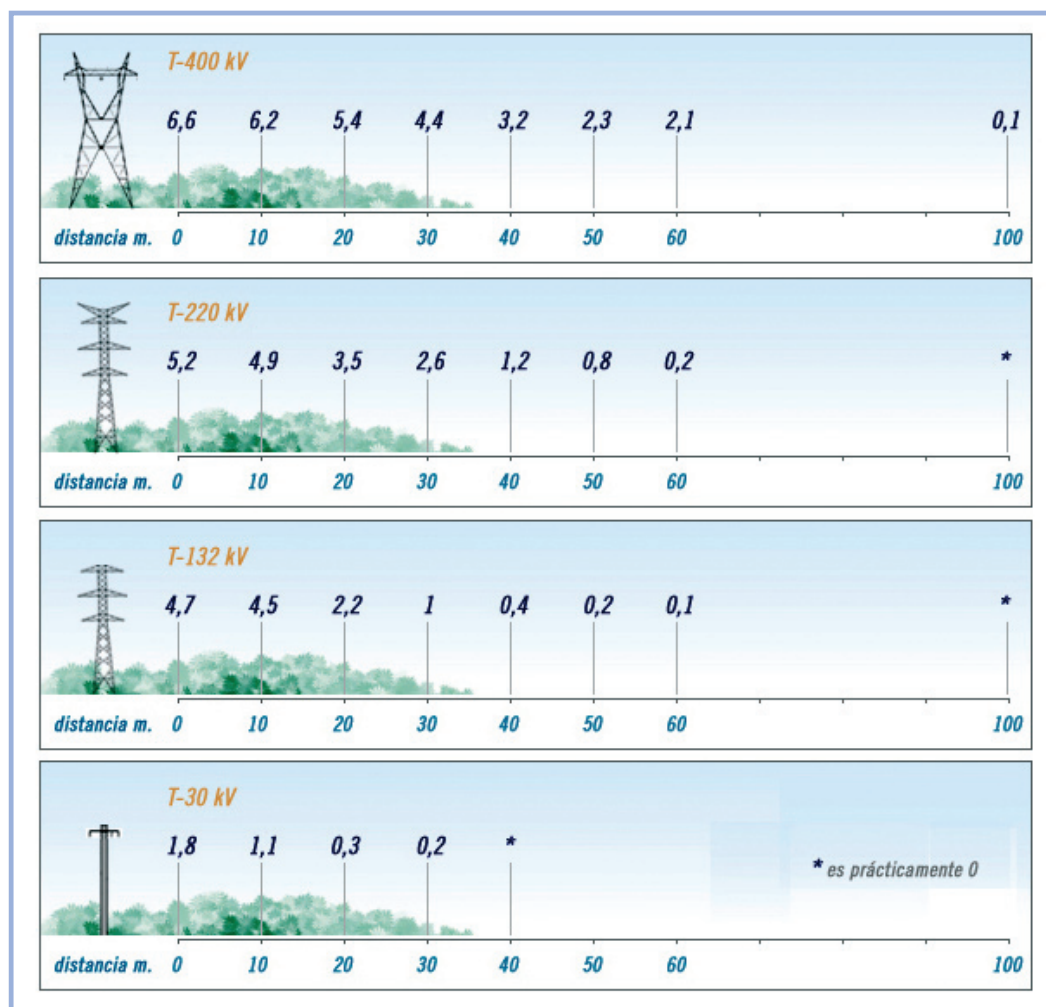


Figura 39.

Disminución del campo magnético con la distancia para diferentes líneas de alta tensión.

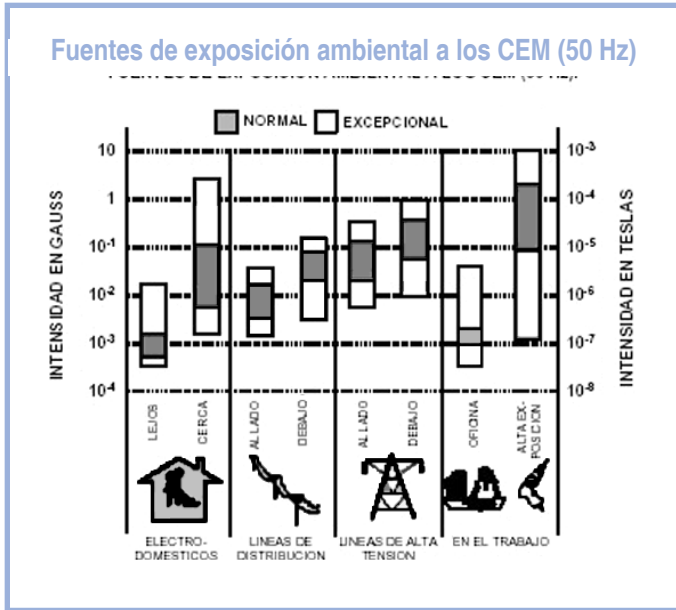
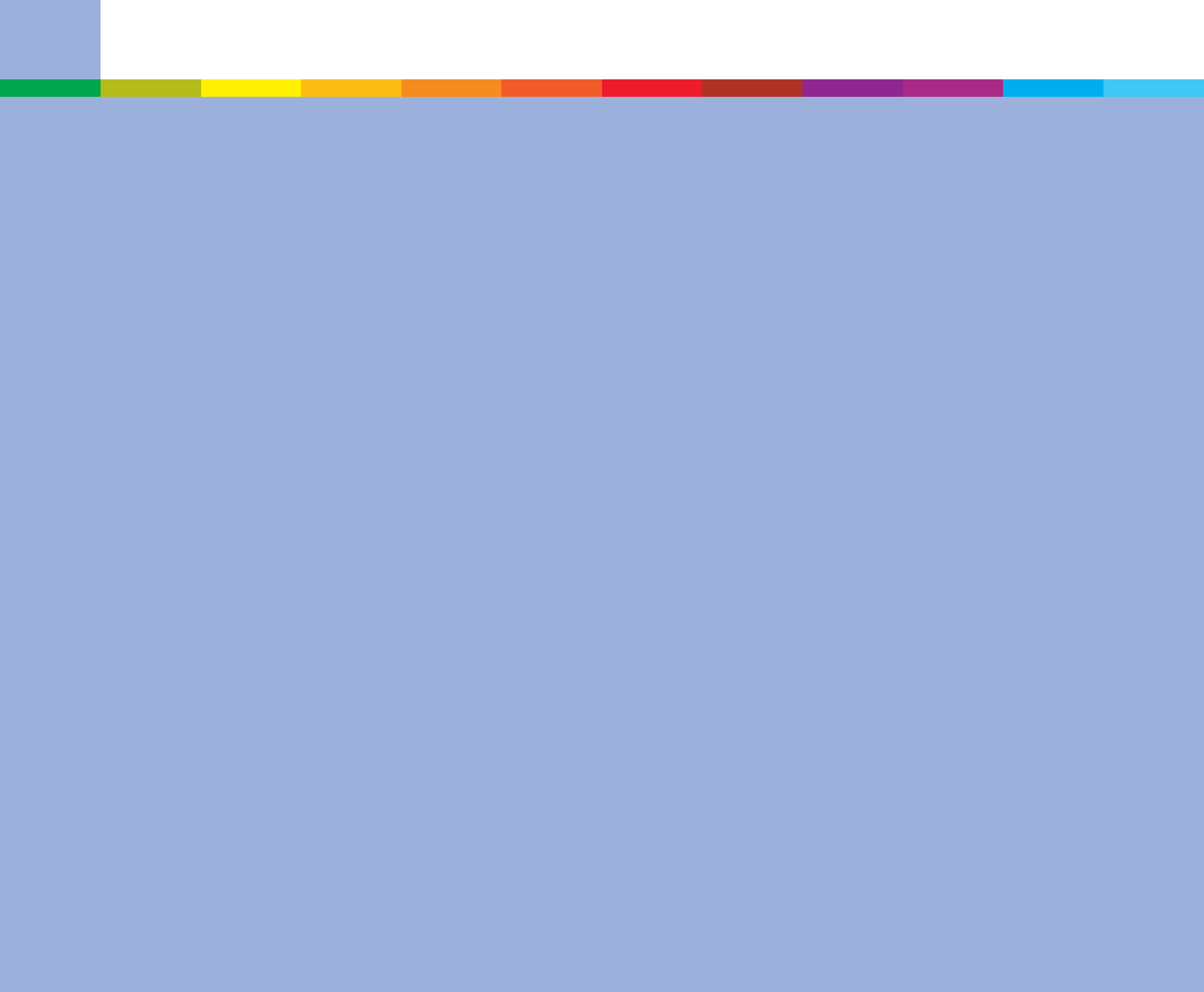


Figura 40.
Fuentes de exposición ambiental a los CEM.





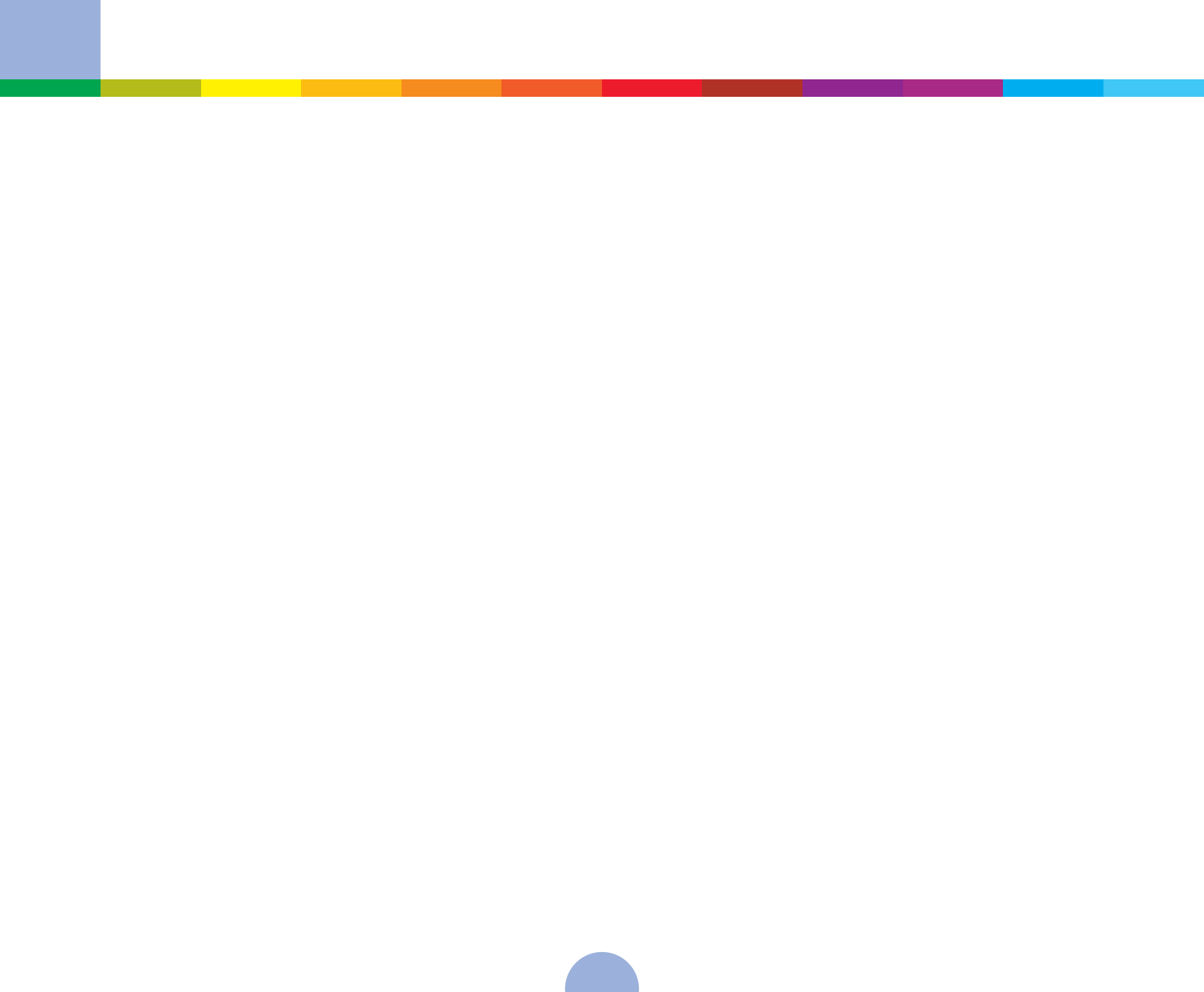


3

capítulo

**CONCEPTOS BÁSICOS
RELACIONADOS CON EL SUPUESTO PRÁCTICO
SOBRE AGUJERO DE OZONO ESTRATOSFÉRICO**





III CONCEPTOS BÁSICOS RELACIONADOS CON EL SUPUESTO PRÁCTICO SOBRE AGUJERO DE OZONO ESTRATOSFÉRICO.

6. El Ozono estratosférico.

Cada año con la llegada de la primavera, en el caso del Hemisferio Norte en el mes de marzo, comienza un proceso masivo de destrucción de un gas, denominado ozono (O_3), que es capaz de protegernos de la radiación ultravioleta de origen solar. Esta destrucción que es máxima en los polos, pero que se extiende cada vez más hacia latitudes medias, constituye el denominado “agujero de ozono” cuyas consecuencias para la salud y los ecosistemas son tremendamente importantes. A continuación se pretende analizar la importancia del ozono para la vida y los mecanismos por los cuales se genera dicho agujero. Así mismo se considerarán las consecuencias sobre la salud de su pérdida y las diferentes medias adoptadas para la mitigación del problema.

6.1 ¿Qué es el ozono estratosférico?

La atmósfera ha experimentado grandes cambios a lo largo de toda su historia. Fue **hace 1500 millones de años**, cuando la concentración de oxígeno atmosférico era del orden del 1 % del actual, cuando tuvo lugar la **formación de la capa de ozono**. Este ozono se formó a partir de la disociación de una molécula de oxígeno molecular (O_2) bajo la acción de la radiación ultravioleta solar de longitud de onda inferior a los 242 nanómetros (1 nanómetro equivale a 10^{-9} m). Este fenómeno permitió que la vida se desarrollase en la parte más superficial de las aguas con lo que aumentó la fotosíntesis y con ello la cantidad de oxígeno disponible; la consecuencia más importante fue que el metabolismo de los seres vivos se produjo a través del proceso de la respiración y no sólo desde la fermentación como había sucedido hasta entonces. Setecientos millones de años después el nivel de oxígeno llegó al 7 % de su proporción conocida y el ozono alcanzó sus valores actuales, acumulándose en una región de la atmósfera denominada **estratosfera**. El 90 % del ozono ubicado en esta zona se localiza entre los 15 y 35 km de altura, aunque su máximo se encuentra sobre los 22 km, oscilando entre los 25 km del ecuador y los 15 km sobre los polos. Por ello la expresión del término “**capa de ozono**” no es rigurosamente exacta, ya

que no se trata de una zona claramente delimitada. Para hacernos una idea de la concentración de ozono en esta capa difusa, baste con decir que la cantidad presente en la alta atmósfera de este gas ocuparía una capa de sólo 3 mm de espesor si todo el fuera comprimido en las condiciones normales de presión y temperatura (1atmósfera de presión y 273 K de temperatura).

6.2

¿Pero por qué es tan importante esta tenue capa de ozono para la vida y por qué es tan peligrosa su destrucción?.

El motivo se basa en que el sol emite la energía que llega a la superficie terrestre del siguiente modo: luz infrarroja el 53 %, luz visible el 39 % y radiación ultravioleta el 8 %. A su vez la radiación ultravioleta se emite en tres bandas A, B y C, siendo la C la de menor longitud de onda y la más energética. De estas tres bandas la más sensible a las variaciones de ozono es la comprendida entre 200 y 300 nanómetros aproximadamente, lo que corresponde fundamentalmente a la banda de la radiación ultravioleta B (UV-B). De modo que **una reducción en la concentración del ozono estratosférico lleva consigo un aumento de la radiación UV-B** incidente en la superficie terrestre. Así, la disminución de un 1 % de ozono implica un incremento de un 2 % en la radiación UV-B que llega a la superficie terrestre. El problema estriba en que esta radiación UV-B es lo suficientemente energética que es incluso capaz de **romper la molécula de ADN** por lo que sus efectos sobre los seres vivos son de gran importancia como se citará posteriormente.

6.3

¿En qué consiste el agujero de ozono y por qué se produce?

El término “agujero de ozono” no se refiere a una ausencia total de este gas, si no a una disminución en su concentración. Si normalmente las concentraciones de ozono en la estratosfera son de 300 Unidades Dobson (UD), se hablará de “**agujero de ozono**” **cuando su concentración baje del umbral de 220 UD**, siendo una UD la cantidad de ozono contenido en un espesor de una centésima de milímetro en condiciones normales. La producción de dicho “agujero” está íntimamente relacionado con la existencia en la atmósfera de los denominados clorofluorocarbonos (CFCs). Estos compuestos tuvieron su origen a partir del año 1928 con el denominado CFC-12 muy utilizado en los equipos de refrigeración; posteriormente en los años 50 se obtiene el CFC-11 que se utilizó de forma masiva como propelente en los sprays, a partir de aquí se produjeron otros CFCs con diferentes aplicaciones en la vida cotidiana. Estos gases resultaban totalmente estables a

temperatura ambiente, emitiéndose del orden de un millón de toneladas anuales. Fueron dos químicos de la Universidad de California Mario Molina y Sherwod Rowland los que formularon la hipótesis de que estas sustancias, debido a corrientes ascendentes, podrían ser arrastrados hasta alturas del orden de 25 e incluso 50 Km. Estos gases que son químicamente estables a temperatura ambiente dejan de serlo a las bajas temperaturas reinantes en la atmósfera a esas altitudes, de modo que la incidencia de la radiación ultravioleta posee suficiente poder energético para liberar un átomo de cloro de la molécula de CFC. Este átomo de cloro reacciona con las moléculas de ozono con enorme eficacia: **cada átomo de cloro puede inutilizar hasta 100.000 moléculas de ozono**, actuando como un catalizador. Mayor es aún la acción destructora del bromo procedente de los halones, ya que un átomo de este halógeno puede destruir entre 40 y 75 veces más que un átomo de cloro. Además el tiempo de vida media de los CFCs en la atmósfera oscila entre los 65 años del CFC-11 y los 380 años para el CFC-115. Para los halones el margen está entre 25 y 110 años.

6.4

¿Por qué se da este fenómeno fundamentalmente en primavera y en los polos?

El hecho de que el agujero de ozono aparezca vinculado a las zonas polares se debe a **factores meteorológicos y especialmente a la formación del denominado vórtice polar**. Durante los meses de invierno en los que la ausencia de radiación genera un progresivo enfriamiento de la atmósfera y, en consecuencia, el descenso del aire, los vientos estratosféricos adquieren velocidad y comienzan a girar alrededor del casquete polar con una intensidad que aumenta a medida que se incrementa el enfriamiento. Este vórtice polar impide el intercambio de aire con otras zonas ricas en ozono procedentes de latitudes más bajas. A ésta hay que añadir las bajas temperaturas y la acumulación de sustancias en las denominadas nubes estratosféricas polares, ricas en aerosoles y entre ellos CFCs. Así pues, tenemos una zona aislada sobre los polos, a muy bajas temperaturas y con gran cantidad de CFCs. Con la primavera polar sale el sol y la radiación ultravioleta incidente libera el cloro de los CFCs comenzando el ciclo de destrucción de ozono y, por tanto, bajando drásticamente sus concentraciones. Según avanza la primavera y la temperatura asciende, **el vórtice polar se va deshaciendo y la entrada de nuevas masas de aire ricas en ozono llevan a que el agujero desaparezca en los últimos meses del verano**.

El agujero de ozono no muestra la misma intensidad en ambos polos pues la desigual distribución de tierras y mares condiciona su evolución. La Antártida, al estar situada sobre las mayores superficies de agua del planeta, permite que los vientos giren sin obstáculos, de esta manera la presencia del vórtice sobre este continente es mucho más intenso que en el Polo Norte y, por tanto, el agujero de ozono alcanza mayor intensidad sobre la Antártida que sobre el Ártico.

6.5 Algunos datos sobre el agujero de ozono.

En la gráfica adjunta se representa la extensión en millones de kilómetros cuadrados que adquirió el agujero de ozono en la Antártida en el año 2001 (naranja), 2002 (azul); 2003 (verde) y 2004 (asteriscos negros) y la media durante el periodo 1979-1992 (rojo), medido por el aparato TOMS transportado por satélites. El agujero (concentraciones de ozono por debajo de 220 UD) se empieza a formar a finales de agosto, cuando la Antártida sale de la oscuridad invernal y desaparece, por los mecanismos anteriormente explicados antes de que acabe diciembre.

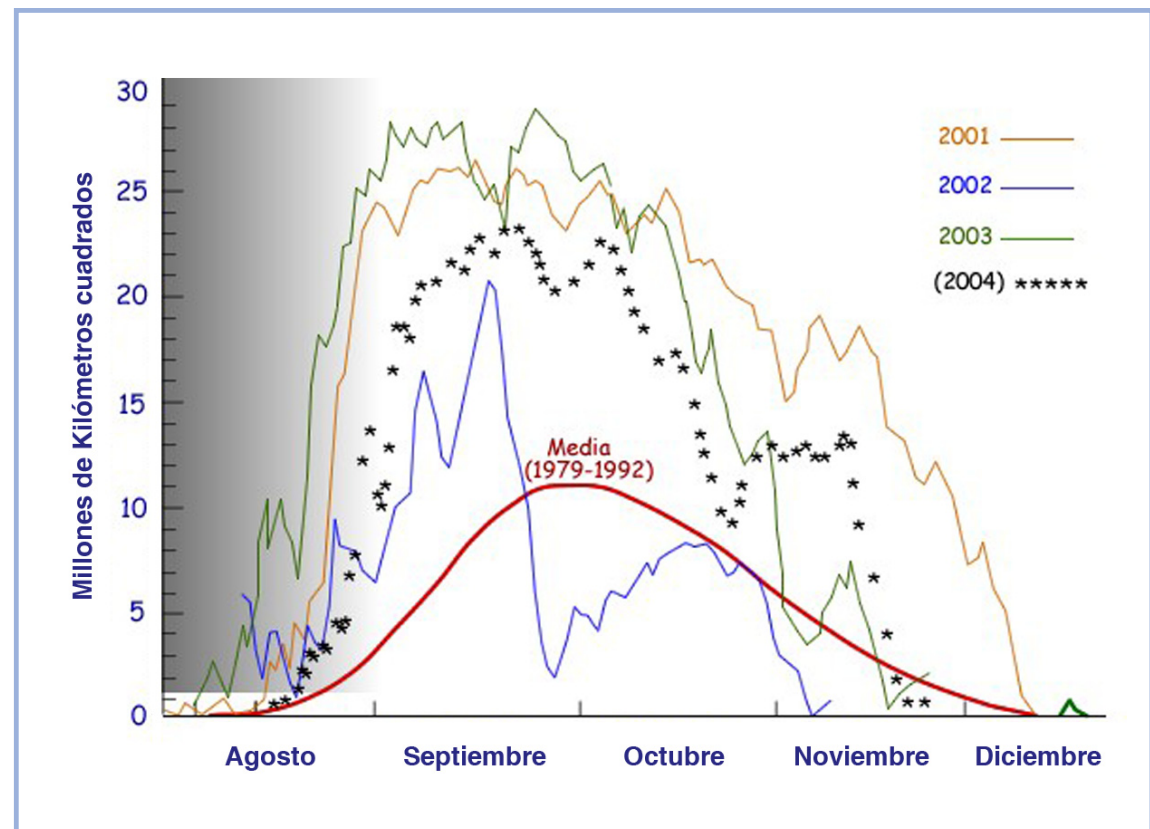


Figura 41.

Evolución anual de la extensión del agujero de ozono sobre la antártida.
Referencia: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

Como se ve en los últimos años el tamaño del agujero ha permanecido prácticamente constante, a excepción hecha del año 2002 en el que los movimientos de aire estratosférico acabaron con el agujero bastante antes de haber adquirido su extensión máxima posible.

La siguiente gráfica hace referencia al ozono global en latitudes comprendidas entre 65°N y 65° S según tres satélites sucesivos, como puede observarse existe una clara tendencia a la disminución desde los años 1979 a 1985. A partir de este año la tendencia es prácticamente nula.

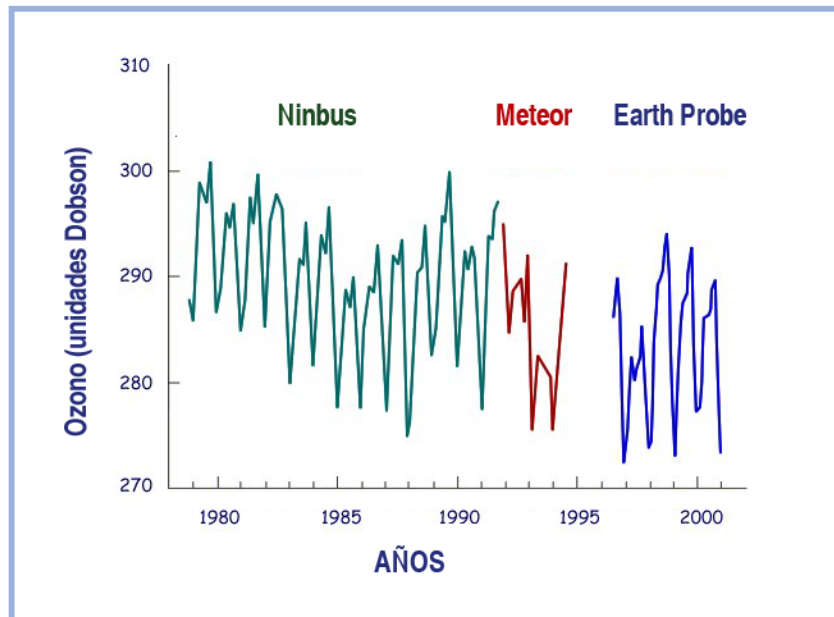


Figura 42.

Evolución temporal del espesor de la capa de ozono sobre la antártida.

Referencia: http://www.aero.jussieu.fr/~sparc/News22_22_Wellemeier.html

En esta gráfica se observa claramente el marcado carácter estacional, con mínimos en primavera y máximos en otoño-invierno.

Según datos relativamente recientes los valores del ozono estratosférico en primavera serían un 35 % inferiores a los registrados en invierno para el caso de Siberia, para Estados Unidos entre un 4 y un 10 % y para el caso de España entre un 10 y un 14%.

6.6

¿Qué efectos puede traer consigo la disminución de la capa de ozono?

Como se ha citado anteriormente la disminución de un 1 % en el espesor de la capa de ozono trae consigo un incremento en la radiación UV-B incidente de un 2%. Este aumento de la UV-B conlleva un serie de efectos patológicos que pueden clasificarse en **no estocásticos** (aquellos que siempre ocurren superado un umbral) y estocásticos (aquellos que unas veces pueden ocurrir y otras no para personas expuestas a los mismos niveles de UV-B). Entre los no estocásticos hay efectos sobre la piel como las quemaduras y los eritemas (vasodilatación y aumento del contenido sanguíneo de una zona); sobre los ojos como la fotoqueratitis y la conjuntivitis y sobre el sistema inmunitario como la disminución de defensas en el organismo. En cuanto a los efectos **estocásticos** están las cataratas y el cáncer de piel, tanto melanoma como no melanoma. Según la Agencia Americana para Protección del Medio Ambiente (EPA), se ha demostrado la existencia de una relación entre la radiación solar y la etiología del melanoma. Según modelos, un aumento del 10 % en la UV-B incidente trae aparejado un incremento entre un 3 y un 5 % del melanoma cutáneo y un incremento de la mortalidad entre un 2 y un 10 %. Por otro lado, la ONU vaticina un aumento para los próximos años de un millón de casos de **cánceres de piel** y de 250.000 casos de **cataratas**.

En cuanto al caso de España se estima que para los años 2010- 2020 uno de cada 30 habitantes sufrirá cáncer de piel, proporción mucho más elevada que la reflejada a principios de la década de los ochenta cuando se registraba un caso por cada 100 habitantes.

Sobre organismos marinos y animales terrestres se ha observado como la UV-B puede afectar a organismos inferiores como las bacterias. Una reducción en la población de bacterias puede llevar a la pérdida de una importante fuente de carbono orgánico en el krill, sustancia de alto valor ecológico. También ha recibido bastante atención la influencia de la UV-B sobre el fitoplacton, producto que es responsable de mas de la mitad de la biomasa total del mundo y que juega un papel fundamental en muchos ciclos tróficos. La UV-B no sólo afecta a la fotosíntesis sino también a la motilidad y orientación del fitoplacton. Otros estudios relacionan a la UV-B con la **disminución de la epifauna coralina; con**

la disminución del crecimiento y supervivencia de larvas y huevos de peces y con la mortalidad de huevos y embriones de anfibios y reptiles. Por otro lado, y en cuanto a las plantas, se ha observado que la UV-B causa una inhibición neta de la fotosíntesis y retraso en el crecimiento de las plantas así como cambios morfológicos en algunas especies mono y dicotiledóneas.

6.7 ¿Qué medidas se han adoptado para la eliminación de este problema?.

La primera medida surgió por parte de Estados Unidos que de forma unilateral en 1979 prohibió los CFC de los sprays. Suecia Noruega y Canadá fueron los únicos países que le siguieron. El siguiente paso fue el conocido Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono en 1985. Fue una mera declaración de buenas intenciones. Pero realmente el hito lo marca el conocido “Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono” firmado en septiembre de 1987. En él ya se establece la reducción del 50 % de las emisiones de 1986 para el año 1998. En el año 1990 una enmienda al **Protocolo de Montreal** obliga a la eliminación, para el año 2000, de la emisión de CFCs a la atmósfera.

En 1992 la reunión de Copenhague adelanta la eliminación total de CFcs el 1 de enero de 1996; la eliminación total de halones en extintores para el 1 de enero de 1994; la eliminación del metilcoroformo de la limpieza en seco para el 1 de enero de 1996; la eliminación del uso de la alternativa a los CFCs, los HCFCs (hidroclorofluorocarbonos), para el 2020 y el control del uso de bromuro de metilo.

Otra nueva revisión del Protocolo en diciembre de 1995 establece la prohibición de usar CFCs en todos los países de la UE y a todos los países industrializados (India y China para el 2010) así como la eliminación del bromuro de metilo a partir del año 2010.

Estas medidas, y otras no descritas por razones de espacio, han llevado a ser optimistas y a pensar en la restauración completa de la capa de ozono en el horizonte temporal de 50 años.

En palabras del propio Mario Molina: *“El Protocolo de Montreal demuestra que es posible que la humanidad resuelva los problemas que ella misma genera”*

Total Ozone for. Oct 5. 2004

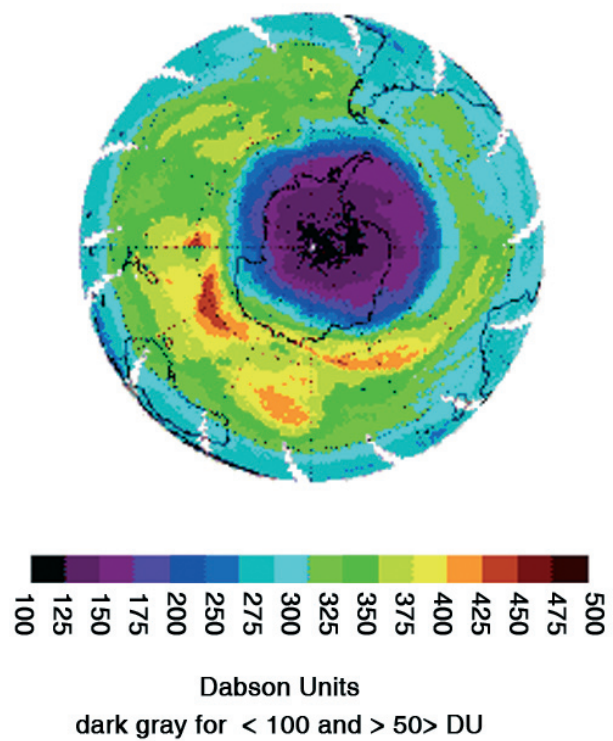


Figura 43. Agujero de ozono sobre la Antártida. Octubre 2004.

6.8 Cambio Climático y agujero de ozono estratosférico.

A grandes rasgos la relación entre el cambio climático y el agujero de ozono se establece en dos niveles. El primero se debe a que el cambio climático, con el consiguiente calentamiento de la troposfera, provocará un enfriamiento de la estratosfera, ya que se impedirá una completa radiación del calor hacia el exterior. Esta disminución de la temperatura de la estratosfera puede redundar en una disminución del ozono estratosférico ya que las bajas temperaturas favorecen la formación de las nubes estratosféricas relacionadas con el agujero de ozono. Por otro lado, existen sustancias que favorecen el efecto invernadero y la destrucción del ozono estratosférico como es el caso del metano, que pueden formar radicales OH y el óxido nitroso que interviene en mecanismos destructores de ozono.



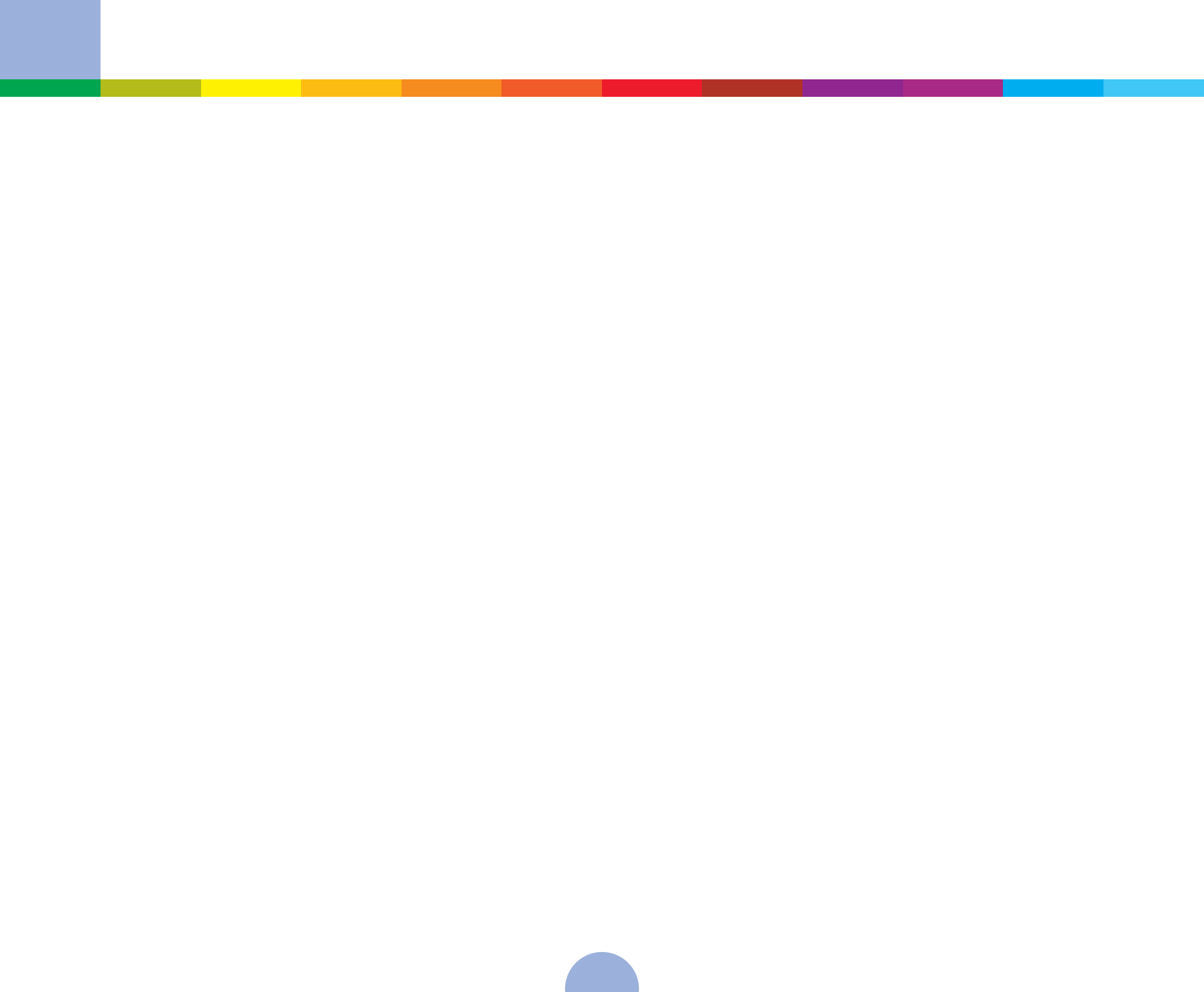


4

capítulo

**CONCEPTOS BÁSICOS
SOBRE EL SUPUESTO PRÁCTICO DE LA
METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO
AMBIENTAL (E.I.A.)**





IV. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE EL SUPUESTO PRÁCTICO DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL (E.I.A.)

7. El procedimiento de la EIA.

La EIA es un proceso de análisis encaminado a **identificar, predecir, interpretar, valorar, prevenir e informar** sobre los efectos que un determinado proyecto puede ocasionar en el medio ambiente, interpretado en términos de salud y bienestar humanos. Como tal, implica un conjunto de acciones a llevar a cabo para cubrir estos requisitos, un conjunto de pasos que vamos a describir a continuación. Por supuesto, la EIA no se lleva a cabo aisladamente, sino enmarcándose en un proceso mucho más amplio de toma de decisión sobre la conveniencia o no de llevar a cabo un proyecto concreto a la práctica, que incluye la autorización gubernativa para ello.

Comencemos con algunas definiciones fundamentales:

IMPACTO AMBIENTAL: Efecto que sobre el medio ambiente produce una determinada actividad. También puede considerarse como la diferencia entre la evolución previsible del estado del medio ambiente “**sin**” y “**con**” la actuación. El impacto puede ser POSITIVO O NEGATIVO, aunque existen muchas diferencias de grado y de calidad que es necesario valorar.

> **Evaluación de Impacto Ambiental (E.I.A.):** *Proceso administrativo* destinado a prever los efectos de determinado proyecto sobre el medio ambiente e informar sobre ellos.

> **Estudio de Impacto Ambiental (Es.I.A.):** Trabajos y técnicas encaminados a predecir las consecuencias de la ejecución de un proyecto sobre el ambiente y establecer medidas correctoras. Se plasma en un documento.

> **Declaración de Impacto Ambiental (D.I.A.):** Dictamen resultante del procedimiento administrativo de Evaluación de Impacto Ambiental, tras examinar las características del proyecto, el estudio de impacto y los resultados de la información pública. Se publica en el B.O.E. o en los Boletines Oficiales de las CC.AA.

> **Proyecto:** Intervención en el medio natural o el paisaje que incluya explotación de los recursos y/o construcción de obras o instalaciones

> **Autorización:** Decisión de la autoridad competente que confiere al maestro de obras el derecho a realizar el proyecto.

7.1

Actores implicados en una E.I.A.

> **Promotor o maestro de obras:** El que solicita la autorización relativa a un proyecto privado, o bien la autoridad pública que toma la iniciativa respecto a un proyecto

> **Órgano sustantivo:** Aquel que ha de conceder la autorización para la realización de un proyecto

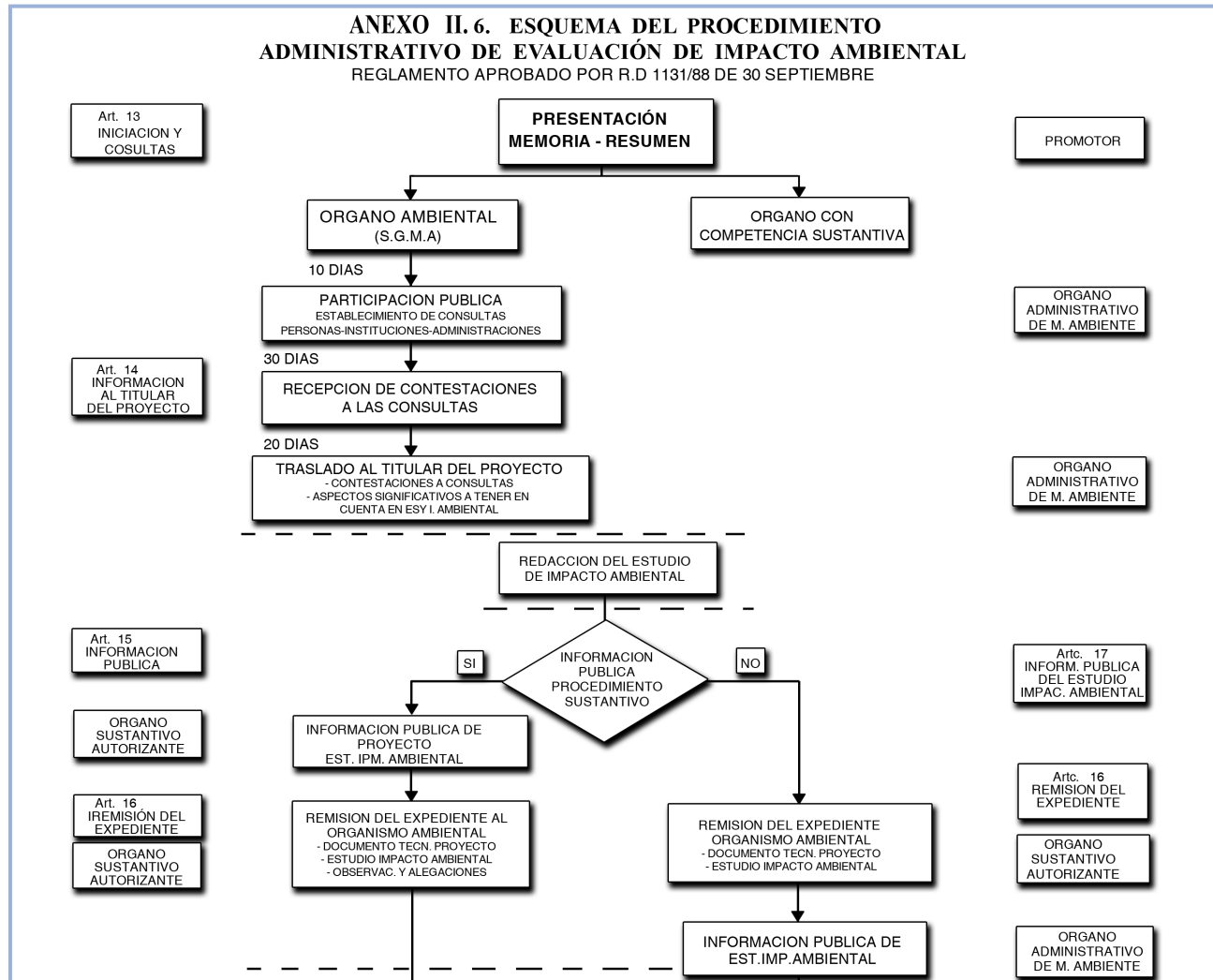
> **Órgano ambiental:** El que, conforme a la normativa vigente, ha de formular la D.I.A.

A estos actores fundamentales hay que sumar las instituciones, organizaciones, ciudadanos y otros actores sociales implicados y afectados por la realización de cualquier proyecto. Existe la obligación de tener en cuenta sus puntos de vista a lo largo de todo el proceso, cristalizando el proceso de participación en un momento concreto, en el que se realiza lo que se denomina la **información pública**, en el cual todo ciudadano interesado puede consultar los informes y hacer constar sus opiniones y quejas. Más adelante hablaremos de esta importante etapa.

Como quiera que una de las partes más importantes de la EIA es el denominado **Estudio de Impacto**, también hay que considerar como actor fundamental en el proceso, al propio equipo de técnicos ambientales que los lleva a cabo. Este tipo de equipos tiene que cumplir con una serie de requisitos para ser adecuados, entre los que destacan:

- 1 > El contar con expertos en cada una de las áreas analizadas (aire, agua, residuos, medio natural, suelos, socioeconomía), que apliquen metodologías rigurosas de análisis
- 2 > El contar con un coordinador con experiencia que se ocupe de hacer circular la información entre los expertos y organizar sesiones de discusión y puesta en común de los resultados, encaminadas a conseguir una verdadera *interdisciplinariedad*;
- 3 > Mantener un contacto continuado y directo con los equipos de diseño del proyecto (retroalimentación para evitar los impactos negativos graves)

El esquema general del procedimiento administrativos de EIA, tal y como lo plantea la ley y lo presentaba el antiguo Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (hoy competencia del Ministerio de Medio Ambiente) en su *Guía Metodológica para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental*, es el siguiente y se muestra en la **figura 44**.



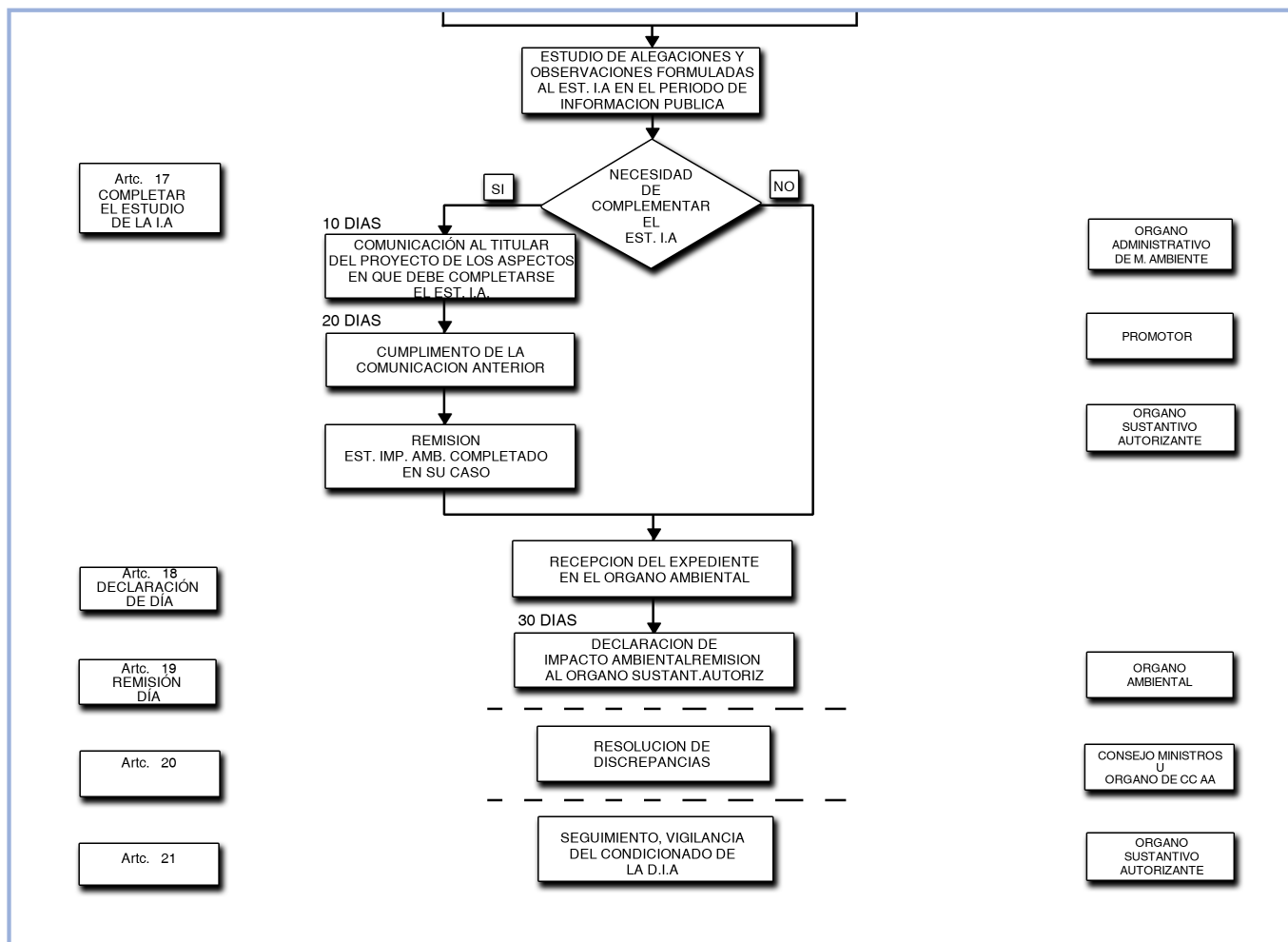


Figura 44. ANEXO II. 6. ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO ADMINISTRATIVO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL. (Reglamento aprobado por R.D. 1131/88 de 30 septiembre)

El diagrama pormenorizado anterior, incluye los artículos del Real Decreto (R.D. 1131/88), donde se explican cada una de las acciones. Se trata, como puedes ver, de un proceso algo complejo.

En el siguiente esquema, tratamos de resumir y simplificar algo más dicho proceso, resaltando las fases en banderas y los documentos más importantes en elipses, lo que constituye la **figura 45**.

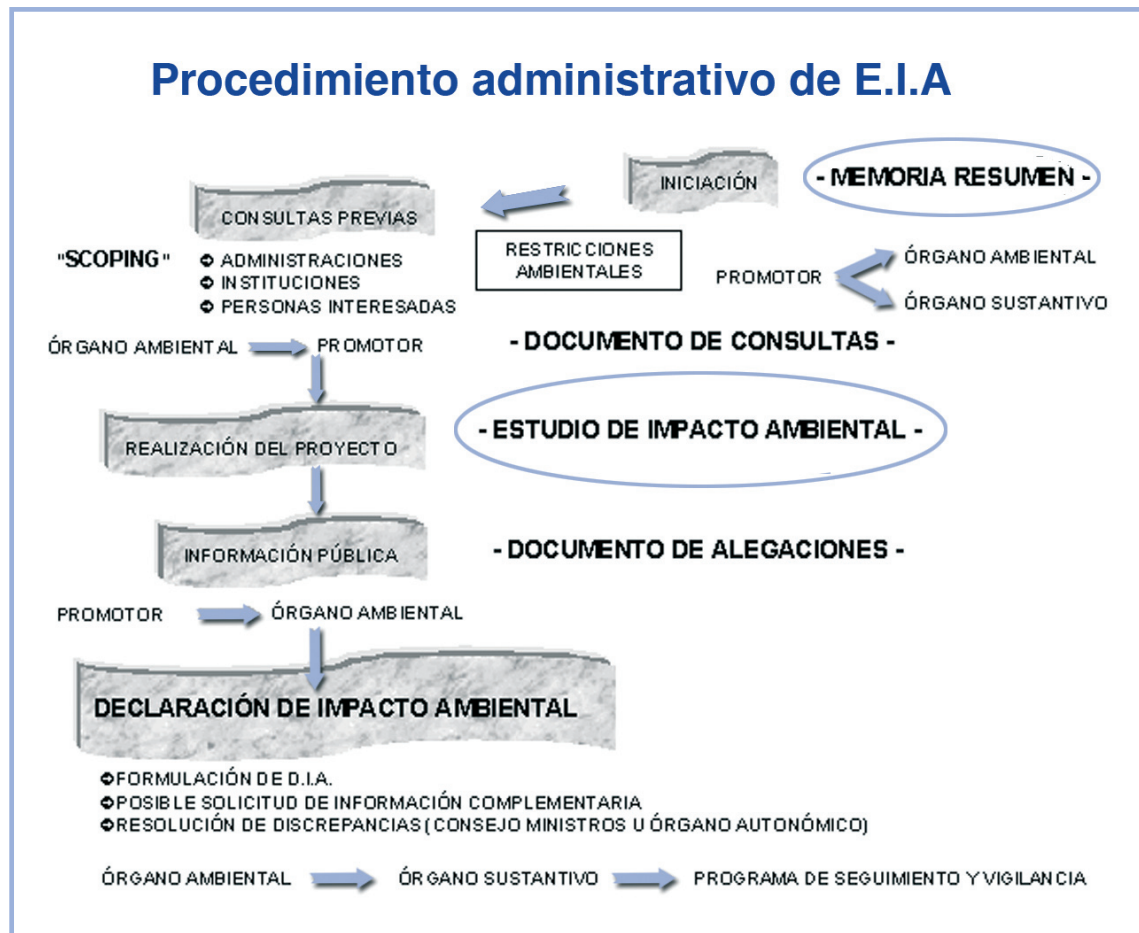


Figura 45.
Procedimiento administrativo en una E.I.A.

A continuación se explican, sucesivamente, cada una de las fases de este proceso que se recogen en la figura anterior:

> **Decisión de realizar la EIA:** Según el procedimiento administrativo legalmente establecido, el promotor o financiador de un proyecto para el que pide la autorización, estará obligado a realizar la EIA cuando las características del mismo lo incluyen dentro de las categorías que se recogen en la legislación. La autoridad responsable de conceder la autorización así lo exigirá, indicando qué, como y cuando se debe hacer.

> **Iniciación y consultas (scoping):** El promotor comunicará al órgano de medio ambiente competente la intención de realizar el proyecto, acompañando una **memoria-resumen**, en la que se recogerán las características más importantes del mismo (con copia al órgano sustantivo).

En el plazo de 10 días desde la presentación de la Memoria resumen, el órgano ambiental podrá efectuar **consultas** a personas, instituciones y administraciones previsiblemente afectados, relativas al impacto ambiental que a su juicio pudiera derivarse, y a los posibles contenidos a incluir en el Estudio de Impacto Ambiental. Es lo que se denomina, en términos anglosajones Scoping. Se les requerirá la contestación en un plazo de 30 días.

> **Información al titular del proyecto:** Tras cerrarse el plazo de consultas, el órgano ambiental remitirá, en un plazo de 20 días, el contenido de las respuestas recibidas, conjuntamente con una relación de los aspectos más significativos a tener en cuenta para la realización del Estudio de Impacto Ambiental.

> **Redacción del Estudio de Impacto Ambiental (Es.I.A.):** Es entonces cuando el titular del proyecto tendrá que llevar a cabo el Estudio de Impacto Ambiental, bien a través de su propio equipo técnico, bien contratando los servicios de consultores especializados. También tendrá que remitir una copia al órgano sustantivo.

> **Información pública:** en este momento del proceso, el estudio de impacto ambiental, en el que se recoge toda la incidencia ambiental del proyecto, será sometido al examen de todo aquel ciudadano o institución que quiera hacerlo, durante el plazo de un mes, previo anuncio en el “Boletín Oficial del Estado”. Cuando la información pública está recogida en el procedimiento de autorización del órgano sustantivo, también se somete a información pública al propio proyecto.

Serán recogidas por la autoridad que realiza la información pública (la sustantiva si su procedimiento lo recoge o la ambiental si no es así), todas las alegaciones presentadas antes de que finalice el plazo previsto.

> **Remisión del expediente:** Una vez realizada la Información Pública, el órgano sustantivo competente remitirá el expediente al órgano ambiental, acompañado en su caso de las observaciones que estime oportunas, al objeto de que este formule su Declaración de Impacto Ambiental. Dicho expediente estará integrado por el **documento técnico del proyecto**, es estudio de impacto ambiental y el resultado de la información pública (si no ha sido llevada a cabo por el órgano sustantivo, entonces tendrá que realizarla para el estudio de impacto, el propio órgano ambiental). Cuando se trata de un proyecto público, el expediente será enviado a la autoridad ambiental antes incluso de haber recibido el visto bueno técnico del órgano sustantivo.

> **Mejora del Estudio de Impacto Ambiental:** Antes de efectuar la declaración de impacto, el órgano administrativo de medio ambiente, a la vista del contenido de las alegaciones y observaciones formuladas en el período de información pública, así como a su propio criterio técnico, puede comunicar al titular del proyecto los aspectos en los que el Es.I.A. ha de ser completado o mejorado dentro de los treinta días posteriores a la finalización de dicha información pública. Para ello el titular dispondrá de otros veinte días, transcurridos los cuales se procederá a la formulación de la Declaración de Impacto Ambiental.

> **Declaración de Impacto Ambiental (D.I.A.):** Se trata de el dictamen en el que se determina, a los efectos ambientales únicamente, la conveniencia o no de realizar el proyecto, y en caso afirmativo, las condiciones en que debe realizarse.

El condicionado, apartado más importante de la D.I.A., contiene un conjunto de especificaciones concretas sobre lo que se ha de tener en cuenta para la protección del medio ambiente. En coherencia con dichas especificaciones, se plantearán las exigencias para que la autorización del proyecto sea concedida. En general se referirán a la **necesidad de salvaguardar los ecosistemas** y su capacidad de recuperación, integrándolas en las previsiones contenidas en los planes y políticas ambientales existentes.

Las condiciones planteadas deberán siempre adaptarse a las innovaciones aportadas por el progreso científico-técnico, que puedan modificar la actividad autorizada. A veces incluso es necesario una nueva D.I.A. tras modificar el proyecto con los nuevos avances planteados, debido a su especial incidencia ambiental, que debería ser positiva.

La D.I.A., además de especificar las medidas correctoras que se deben llevar a cabo, también prescribe la forma de realizar el seguimiento y control de las actuaciones, de conformidad con el Programa de Vigilancia Ambiental, que debe contener todo Es.I.A.

> **Remisión de la D.IA.:** En el plazo de otros treinta días después de la recepción del expediente final, la Declaración de Impacto se remitirá al órgano de la Administración que ha de dictar la resolución administrativa de autorización del proyecto.

> **Resolución de discrepancias:** Es posible que se diera el caso de discrepancia entre el órgano con competencia sustantiva y el órgano administrativo de medio ambiente respecto a la conveniencia de ejecutar el proyecto o sobre el contenido del condicionado de la Declaración de Impacto Ambiental. En tal caso, y si estas no fueran resueltas entre ellos, corresponde al Consejo de Ministros o el órgano competente equivalente en la Comunidad Autónoma correspondiente (según cual haya sido la Administración que haya tramitado el expediente), resolver dicho conflicto.

> **Publicación de las condiciones de la DIA:** El contenido de la D.I.A. será publicado, con su condicionado definitivo en el B.O.E. o Boletín oficial de la Comunidad Autónoma correspondiente.

7.2

La elaboración del Estudio de Impacto Ambiental.

El procedimiento administrativo de Evaluación del Impacto Ambiental, como se ha explicado más arriba, es un instrumento de gestión de la calidad ambiental de los proyectos industriales, agrarios, forestales, de infraestructuras... con un **carácter eminentemente preventivo**, en el que el documento técnico más importante es el Estudio de Impacto Ambiental. Por esta razón el Es.I.A. deberá ser un conjunto de análisis de la relación futura proyecto-medio, con un carácter eminentemente predictivo o prospectivo.

El Es.I.A. es, por tanto, el documento técnico de **carácter interdisciplinario**, que se destina a predecir, identificar, valorar y corregir, las consecuencias o efectos ambientales que determinadas acciones pueden causar sobre la salud y la calidad de vida de las comunidades humanas y especialmente todo lo asociado con la calidad de su entorno.

El titular de un proyecto que deba someterse a la EIA, debe presentar este documento técnico, que será la base sobre la que se emita posteriormente la Declaración de Impacto Ambiental (DIA). En cada caso concreto, el EsIA tendrá la misión de recoger las particularidades del medio y su interacción futura con el proyecto propuesto, prediciendo, según esas peculiaridades, los efectos más notables de su realización. Se trata de presentar la realidad lo más objetivamente posible, para calibrar el sacrificio ambiental que supone un proyecto, obra o actividad.

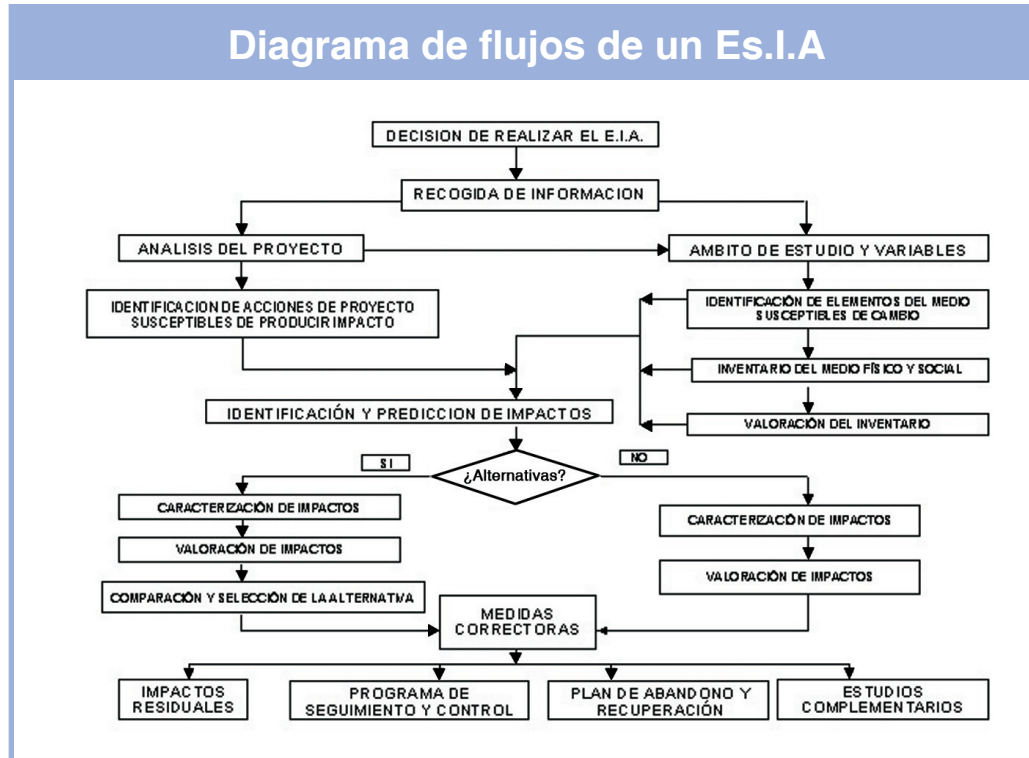


Figura 46.
Diagramas de Flujos en un Estudio de Impacto ambiental

La elaboración de los EsIA pasa también por una serie de fases y de tareas que podrían sintetizarse como se expresa en el gráfico anterior.

> **1. Análisis del proyecto y sus alternativas:** Es muy importante conocer en profundidad el proyecto y las posibilidades de variación que tiene, o alternativas, para poder determinar donde se encuentran sus puntos conflictivos en lo que se refiere a las afecciones ambientales.

Lo fundamental en este punto es “desmenuzar” el proyecto en un conjunto de acciones a realizar, a lo largo de distintas fases (construcción, operación, vigilancia), siempre desde el enfoque ambiental, que pretende sacar a la luz las características del proyecto y situaciones que puedan generar impactos: procesos, materias primas y recursos naturales,

superficies y suelos ocupados, vertidos, emisiones, ruidos, olores, vibraciones, consumo de energía y fuentes...

> **2. Inventario ambiental y ámbito de estudio:** En esta fase se trata de realizar una **búsqueda de información** necesaria y suficiente para comprender el funcionamiento del medio receptor sin proyecto, su evolución anterior y la previsible para el futuro, mediante la realización de un inventario lo más completo posible del medio receptor, llevado a cabo por el equipo interdisciplinario de expertos en cada factor ambiental, tanto para el medio físico (clima, geología, aguas, suelos), como para el Biológico (vegetación, fauna, ecosistemas, espacios protegidos), el Perceptual (paisaje) o el Socioeconómico (población, actividades económicas, urbanismo, patrimonio, calidad de vida y salud).

Cada factor ambiental a considerar en el estudio será delimitado en su dominio espacial y temporal (ámbito de estudio) para el entorno del proyecto, con arreglo a la influencia que sobre él pudiera ejercer el desarrollo de las obras o actuaciones en proyecto, dadas las características de funcionamiento de cada factor considerado.

En este momento es necesaria la *recopilación de gran cantidad de información* sobre el emplazamiento, de muy diversas fuente (estudios previos, administración, fondos bibliográficos y documentales), verificado con la realización de un adecuado *trabajo de campo* que incluya las oportunas tomas de muestras y mediciones, acompañada de su oportuna *representación cartográfica a escala*, para finalmente llevar a cabo una *valoración* del inventario con arreglo a valores contenidos en la legislación vigente y a criterios propios de cada factor analizado.

> **3. Previsión de los efectos:** Es el momento de realizar una primera aproximación al estudio de las interacciones medio-proyecto, analizando posibilidades de afección de las acciones del primero sobre los factores del segundo, sin entrar en grandes detalles.

> **Identificación de las acciones impactantes:** selección de entre las acciones del proyecto de aquellas que se considera podrían ejercer impacto sobre el medio.

> **Identificación de los factores susceptibles de impactos:** Selección de aquellos factores del medio vulnerables a las acciones que se han considerado impactantes.

> **dentificación de relaciones causa/efecto:** Se suele realizar mediante la elaboración de **Matrices de Identificación**

Impactos, mediante cruces en las casillas donde determinada acción del proyecto afectará previsiblemente a un factor dado del medio.

A continuación se muestra un ejemplo de matriz de identificación de impactos.

ACCIONES DE PROYECTO / FACTORES AMBIENTALES	MEDIO FÍSICO				MEDIO BIÓTICO				MEDIO SOCIOECONÓMICO						
	Calidad del aire	Geomorfología	Hidrología superficial	Hidrología subterránea	Suelo	Vegetación	Uso del Suelo	Fauna	Flora	Tráfico	Población	Vegetación	Mano de Obra	Planeamiento Urbano	Actividades Económicas
FASE DE CONSTRUCCIÓN															
Ejecución de infraestructuras del edificio 29															
Tránsito de maquinaria															
Montaje interno de maquinaria															
Recubrimiento edificio															
Gestión de residuos generados															
Ejecución de las nuevas columnas de destilación															
Tránsito de maquinaria															
Instalación columnas de destilación															
Construcción de la nueva planta próxima a la Planta Integral de Tratamiento de Residuos (PIIR)															
Adquisición de terrenos															
Despeje y desbroce															
Montamientos de Tierras															
Necesidades de Préstamos y Verlederos															
Tránsito de maquinaria															
Ejecución de las nuevas instalaciones															
FASE DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO															
Transporte de la biomasa seca															
Emisiones sonoras															
Contaminación atmosférica (partículas y gases)															
Efluentes líquidos															
Gestión de residuos generados															
Transporte de la biomasa exhausta															
Existencia de la instalación (edificios principales y auxiliares)															
Mantenimiento de la instalación															
														IMPACTOS DE CARÁCTER NEGATIVO <input type="checkbox"/>	
														IMPACTOS DE CARÁCTER POSITIVO <input type="checkbox"/>	

> **Valoración cualitativa del impacto:** Sobre las matrices de impacto, se toma ahora las casillas donde se marcaron cruces de interacción o impacto, y se realiza una *valoración cualitativa* de los mismos. Existen distintos modos de realizar dicha valoración, entre los que destaca, por su sencillez de manejo y facilidad de interpretación, la elaboración de **Matrices de Importancia**. En ellas se sustituyen las cruces de la matriz de impacto por un valor numérico que da una idea de la importancia, calculado mediante un algoritmo determinado en el que cada miembro será una cualidad del impacto (extensión, intensidad, proyección temporal, recuperabilidad, reversibilidad, aplicación de medidas correctoras,...). El valor numérico de importancia de cada impacto se obtiene mediante algún baremo o escala de mayor a menor gravedad para el medio en cada una de las características cualitativas de impacto analizadas (extenso es peor que puntual, irreversible peor que reversible, etc).

En la tabla siguiente se definen las características más comunes a valorar en los análisis cualitativos de impacto.

CARACTERÍSTICAS	VALOR	DEFINICIONES
1. Carácter general del tiempo	Beneficioso Adverso	Consideración positiva respecto al estado previo Consideración negativa respecto al estado previo
2. Tipo de acción del impacto (relación causa / efecto)	Directa Indirecta	Indica el modo de producirse la acción sobre los elementos ambientales
3. Sinergia o acumulación	Sinérgico No sinérgico Acumulativo	Hace referencia a la posibilidad de aparición de impactos importantes por acción conjunta de otros menores, o de su acumulación
4. Proyección en el tiempo	Temporal Permanente	Se presenta de forma eventual mientras dura la acción Efecto continuo o intermitente pero sin final
5. Proyección en el espacio	Localizado Extensivo	Efecto puntual Afección a una superficie extensa

6. Cuenca espacial del impacto	Próximo Alejado	El efecto se produce en las inmediaciones de la fuente El efecto se produce a distancia considerable de la fuente
7. Reversibilidad	Reversible Irreversible	Las condiciones originales reaparecen al cabo del tiempo Las procesos naturales no son capaces de restaurar las condiciones originales
8. Recuperabilidad	Recuperable Irrecuperable	Se pueden acometer medidas correctoras que minimicen o anulen el impacto El impacto no se recupera ni con la aplicación de medidas correctoras

En el cuadro siguiente se presenta una propuesta de algoritmo de cálculo, con las escalas o baremos correspondientes para cada característica valorada del impacto.

NATURALEZA		INTENSIDAD (I) (Grado de destrucción)	
Impacto beneficioso	+	Baja	1
Impacto perjudicial	-	Media	2
		Alta	4
		Muy alta	8
		Total	12
EXTENSIÓN (EX) (Area de influencia)		MOMENTO (MO) (Plazo de manifestación)	
Puntual	1	Largo plazo	1
Parcial	2	Medio plazo	2
Extenso	4	Inmediato	4
Total	8		

PERSISTENCIA (PE) (Permanencia del efecto)		REVERSIBILIDAD (RV)	
Fugaz	1	Corto plazo	1
Temporal	2	Medio plazo	2
Permanente	4	Largo plazo	3
		Irreversible	4
SINERGIA (SI) (Regularidad de la manifestación)		EFECTO (EF) (Relación causa-efecto)	
Sin sinergismo (simple)	1	Indirecto (secundario)	1
Sinérgico	2	Directo	4
RECUPERABILIDAD (MC) (Reconstrucción por medios humanos)		IMPORTANCIA (I) (Importancia del impacto)	
Puntual	1	$I = \sum (3I + 2 EX + MO + PE + RV + SI + EF + MC)$	
Parcial	2		
Extenso	4		
Total	8		

> **4. Predicción de la magnitud del impacto:** Es lo que se denomina la valoración cuantitativa del impacto ambiental. Utilizando los valores predictivos de los impactos sobre cada factor en sus propias unidades de medida. En algunas metodologías se elaboran tablas con valores numéricos en unidades de *calidad ambiental*, que son el resultado de la transformación, a través de funciones de transformación elaboradas *ad hoc* para cada factor del medio estudiado, de los valores de impacto previsto en las unidades de medida propias de cada factor.

> **5. Calificación final de los impactos:** Tras la valoración cualitativa y cuantitativa de los impactos, es necesario calificar los impactos con arreglo a una serie de criterios presentes en la legislación, y que son:

- > **Impacto compatible:** impacto de poca entidad, en el que no se precisa medidas correctoras para que el medio natural recupere sus características
- > **Impacto moderado:** la recuperación de las condiciones originales requiere un cierto tiempo y es aconsejable la aplicación de medidas correctoras
- > **Impacto severo:** la magnitud del impacto exige la aplicación de medidas correctoras que minimicen o anulen su efecto; y la recuperación, aún con estas prácticas, requiere un período dilatado.
- > **Impacto crítico:** la magnitud del impacto supera el umbral aceptable, produciéndose una pérdida permanente de la calidad de las condiciones ambientales, sin posibilidad de recuperación de las mismas. La aplicación de medidas correctoras es poco factible y son muy poco efectivas

> **6. Selección de Alternativas:** Cuando los proyectos evaluados así lo permitan, deben incluir posibilidades distintas para su ejecución, bien sea por tener más de una posibilidad de emplazamiento, bien por admitir la posibilidad de variar determinadas características de su estructura, que a su vez varíen la calidad y/o cantidad de su afección al medio. Para que puedan considerarse alternativas válidas, deberán de ser todas ellas viables y, al menos *a priori*, no presentar diferencias muy notables en sus impactos al medio.

La selección de alternativas a los efectos ambientales se realizará comparando los impactos de cada una de ellas y eliminando aquellas con impactos más graves. La selección final de las alternativas suele realizarse mediante Análisis Multicriterio, una metodología sencilla de comparación numérica en la que se consideran los impactos ambientales junto a otras consideraciones de tipo económico y social de cada alternativa.

Definición de las medidas protectoras, correctoras y compensatorias: Tras predecir y prever los impactos, la siguiente fase se ocupará, lógicamente, de proponer las oportunas medidas para evitarlo en la medida de lo posible. Bien

puede ser en el momento del diseño, introduciendo medidas de precaución y prevención, bien corrigiendo aquello que no ha podido ser evitado, e incluso, compensando algunos que no se pueden ni siquiera corregir.

- > El **objetivo principal** de estas medidas es la mejora ambiental del proyecto; devolver al medio las condiciones originales, tras la ejecución del proyecto, o disminuir los efectos ambientales negativos
- > **Medidas protectoras:** A diseñar durante la fase de proyecto, aplicándose en la fase de ejecución del mismo para evitar en lo posible los daños
- > **Medidas correctoras:** Tratan de minimizar o reparar los daños una vez ocasionados el medio ambiente, definiendo las actuaciones correctivas a desarrollar sobre la actividad que los ha originado
- > **Medidas compensatorias:** Se aplican en aquellos casos que no es posible la corrección, constituyendo una forma de compensar parcialmente los efectos negativos ocasionados, o *impactos residuales*

> **Plan de Vigilancia Ambiental:** Una vez establecidas las medidas protectoras y correctoras, introduciéndose las mejoras oportunas en el diseño del proyecto, es necesario también la programación de un conjunto de tareas para vigilar que dichas medidas se llevan a cabo, que no se producen fallos en las mismas y si los hay solucionarlos, así como que no aparecen nuevos impactos no previstos en la evaluación o que los impactos residuales previstos no exceden de los valores tolerables. Se trata del Programa o Plan de Vigilancia Ambiental, que contendrá todas las **tareas a realizar, cuando, como han de realizarse y los informes a redactar** a lo largo de la puesta en práctica del proyecto. Implica la planificación de un sistema de seguimiento de los impactos ambientales que incluya toma de muestras y análisis de datos ambientales y de la salud de las poblaciones afectadas.

> **Participación pública:** El estudio, como ya se vio en la descripción del proceso administrativo, se ha de someter al trámite prescrito de Información Pública, en el cual el público general y las instituciones afectadas o con algún tipo de relación con el proyecto, pueden realizar las alegaciones que estimen oportunas, tanto al proyecto en sí mismo, como al estudio de impacto ambiental. Aquellas que estén bien documentadas y que muestren una consistencia y veracidad suficientes, podrán ser tenidas en cuenta en una corrección posterior del EsIA, si así lo estima oportuno la autoridad ambiental.

Formando parte integrante del Estudio de Impacto Ambiental, se encuentra un documento específico, apto para la consulta de los no especialistas en el análisis ambiental y que sirve de resumen de las conclusiones derivadas de los análisis que el EsIA contiene. Se trata del **Documento de Síntesis**, que no debería contener más allá de 25 páginas, escritas en un términos lo más fáciles de comprender posibles. Es importante reseñar en él donde se han encontrado las dificultades informativas y cual es el origen y significado de las mismas.

7.3**Desarrollo sostenible.**

En 1983 se forma la **Comisión Mundial sobre Ambiente y Desarrollo**, la cual en 1987 presenta su informe Nuestro Futuro Común, conocido como “**Informe Brundtland**”, por el nombre de su Presidenta, la noruega Gro Harlem Brundtland. La Comisión une los diferentes problemas y populariza el término “Desarrollo Sostenible”, que define como “el desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades”. Dicha definición se asumiría en el Principio 3 de la Declaración de Río (1992). De esta manera se oficializa un enfoque en el que se compatibilizan los aspectos ambientales, con los económicos y los sociales, desde una perspectiva solidaria tanto intergeneracional como intrageneracionalmente.

El término en cuestión hace referencia a un crecimiento económico susceptible de satisfacer las necesidades de nuestra sociedad en términos de bienestar, a corto, medio y largo plazo. Por otra parte, establece la hipótesis de que el desarrollo debe responder a las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras. El desarrollo sostenible expresa dos ideas muy claras: el **uso racional de los recursos naturales y la protección del ecosistema mundial** en las figuras de los ciudadanos (respeto al medio, cambio de hábitos), ciencia (conocimientos y soluciones) y poderes públicos (legislación y cooperación con otros países).

Por tanto, el concepto de **desarrollo sostenible**, si bien procede de la preocupación por el medio ambiente, **no es un concepto fundamentalmente ambiental**, si no que trata de superar la visión del medio ambiente como un aspecto aparte de la actividad humana que hay que preservar. El medio ambiente está interrelacionado con la actividad humana y la mejor manera de protegerlo es tenerlo en cuenta en todas las decisiones que se adopten. El concepto de desarrollo sostenible tiene un vector ambiental, uno económico y uno social. El aspecto social no se introduce como una concesión, si no por la evidencia de que el deterioro ambiental está tan asociado con los estilos de vida de los países desarrollados y las élites de los países en desarrollo como con la pobreza y la lucha por la supervivencia de la humanidad marginada.

Figura 47.
Logotipo de la Cumbre Mundial sobre el
Desarrollo Sostenible de Johannesburgo 2002





madrid

ÁREA DE GOBIERNO DE MEDIO AMBIENTE
Y SERVICIOS A LA CIUDAD