

# **COORDENADAS DEL PLAN**

## **2. LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA**

<b>2.1. LA ATMÓSFERA .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2. LOS CONTAMINANTES .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3. TRANSPORTE Y DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4. LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE LAS CIUDADES Y SU IMPACTO SOBRE LA SALUD .....</b>	<b>19</b>

La contaminación atmosférica es un fenómeno muy complejo, en el que participan multitud de factores.

Los niveles de contaminación en el aire dependen de la naturaleza y de las condiciones de las emisiones de contaminantes, así como de las condiciones meteorológicas, que determinan el transporte, la difusión y las consecuencias de estos mismos.

Se entiende por contaminación atmosférica ***la presencia en el aire de sustancias y formas de energía que alteran la calidad del mismo, de modo que implique riesgos, daños o molestias graves para las personas y bienes de cualquier naturaleza<sup>(1)</sup>***.

Con el fin de que el propio Plan constituya una herramienta de información pública que permita el buen entendimiento de esta problemática, a continuación se presenta una somera descripción de los aspectos que intervienen en todos los procesos de contaminación del aire: la atmósfera y sus propiedades, los contaminantes, los factores que condicionan la dispersión y el transporte de la contaminación, y finalmente los principales impactos sobre la salud humana.

## 2.1. La atmósfera.

La atmósfera es una masa gaseosa que forma la capa externa que envuelve a la Tierra, con un espesor cercano a los dos mil kilómetros. Por su composición, la atmósfera permite que se desarrollen los procesos biológicos y regula la temperatura a manera de termostato.

La atmósfera no es homogénea y pueden reconocerse en ella varias capas o estratos que se diferencian entre sí sobre todo en su comportamiento térmico.

- **La Troposfera.** Alcanza una altura que varía entre los 8 y los 12 km sobre los polos y de 15 a 18 km sobre el ecuador. Esta capa presenta un gradiente vertical (velocidad constante de variación térmica) a todo lo alto de la misma.
- **La Estratosfera.** A partir de la troposfera aparece una capa en la que la temperatura aumenta, primero lentamente hasta llegar cerca de los 30 km de altura, y a partir de aquí rápidamente hasta llegar a los 50 km.



- **La Mesosfera.** Se extiende desde la capa anterior hasta los 80 km y alcanza cerca de -100°C de temperatura.
- **La Termosfera.** Nuevamente el ritmo de cambio de temperatura varía y ésta asciende rápidamente hasta alcanzar cerca de 500°C a la altura de 500 km.
- Después de ésta se extiende **la Exosfera** que alcanza una altura de 2.000 km, que se considerada como el límite de la atmósfera terrestre.

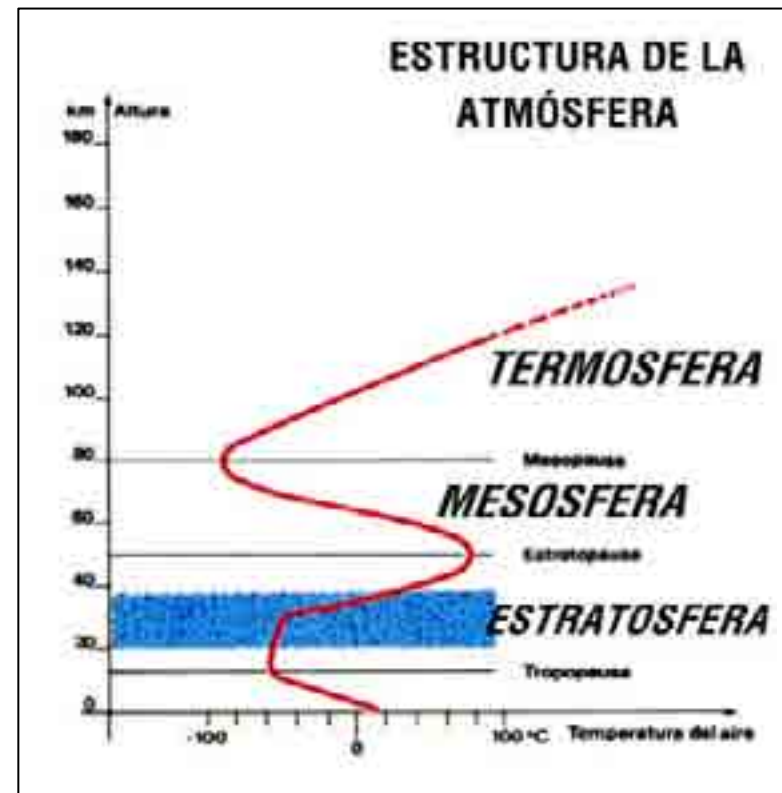
Independientemente de su localización, el aire atmosférico contiene aproximadamente 78 % de nitrógeno, 21 % de oxígeno, 0.9 % de argón, 0.03% de dióxido de carbono y trazas de otros gases como el neón, el helio, etc.

Sin embargo, en una muestra de aire de la baja atmósfera se pueden encontrar además ciertos compuestos como el dióxido de azufre, el monóxido de carbono, el metano, el plomo, etc.

A esta mezcla de gases hay que añadir otras sustancias que pueden desempeñar una función muy importante

como son las partículas de polvo, las cenizas volcánicas, el polen o los productos industriales, que pueden actuar como "núcleos higroscópicos" facilitando la formación de bruma o nubes.

Figura 2.1. La estructura de la Atmósfera.



Fuente: Universidad Autónoma de Méjico ([www.sagan.uam.mx](http://www.sagan.uam.mx))

## 2.2. Los contaminantes.

De la definición de contaminación atmosférica dada anteriormente, se desprende que el que una sustancia sea considerada contaminante o no dependerá de los efectos que produzca sobre sus receptores. Así, ya en el año 1967 la Comisión del Consejo de Europa definía un contaminante como **“cualquier sustancia extraña o cuya variación de la concentración en la atmósfera es susceptible, teniendo en cuenta los conocimientos del momento, de provocar un efecto nocivo o de crear un daño o una molestia”**<sup>(3)</sup>.

Con frecuencia, los *contaminantes naturales* aparecen en cantidades mayores que los productos de las actividades humanas, los llamados *contaminantes antropogénicos*. Sin embargo, estos últimos presentan la amenaza más significativa a largo plazo para la biosfera. Además, se concentran en superficies pequeñas y próximas a las áreas urbanas con fuertes densidades de población.

Una primera clasificación de estas sustancias, atendiendo a cómo se forman, es la que distingue entre contaminantes primarios y secundarios.

### 2.2.1 Los contaminantes primarios

Se entiende por contaminantes primarios aquellas sustancias que son vertidas directamente a la atmósfera. Los contaminantes primarios provienen de muy diversas fuentes dando lugar a la llamada contaminación convencional. Su naturaleza física y su composición química es muy variada, si bien podemos agruparlos atendiendo a su peculiaridad más característica, como su estado físico (caso de partículas y metales) o el elemento químico común (caso de los contaminantes gaseosos).

Entre los contaminantes atmosféricos más frecuentes que causan alteraciones en la atmósfera se encuentran:

- El **dióxido de azufre** (o *anhídrido sulfúrico*): Su origen está ligado a la presencia de azufre en casi la totalidad de los combustibles fósiles (sobre todo el carbón). Sus principales fuentes de emisión son las centrales térmicas, los centros de producción de calefacción y las grandes instalaciones de combustión industrial, mientras que la contribución del transporte es mínima. Además de sus

consecuencias sobre la salud también es responsable de la lluvia ácida.

- Las **partículas en suspensión**: Todas las partículas sólidas en suspensión en el aire que son liberadas a la atmósfera por una serie de fuentes fijas y móviles, en su mayor parte relacionadas con fenómenos de combustión, pero que también se forman en la atmósfera a partir de agentes contaminantes gaseosos ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , ..). La composición de las partículas presentes en la atmósfera es difícil de determinar puesto que resultan de mezclas de sustancias cuyo origen, granulometría y composición química varían en función del tiempo y del entorno.

Las partículas se miden según su tamaño: los humos negros agrupan las partículas carbonadas de menos de  $5 \mu\text{m}$ , y los  $\text{PM}_{\text{xx}}$  (particulate matter en inglés), a las partículas cuyo tamaño superior en micrómetros viene indicado por el subíndice.

- Los **óxidos de nitrógeno** ( $\text{NO}_x$ ): Están constituidos en un 90-95 % por el monóxido de nitrógeno ( $\text{NO}$ ) y por el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ). El  $\text{NO}$  se forma

por combinación de nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) y de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) durante combustiones a altas temperaturas. A continuación, se oxida rápidamente a  $\text{NO}_2$  por la acción de otros compuestos tales como el  $\text{O}_2$  o el  $\text{O}_3$ .

El transporte por carretera es el principal responsable de su emisión; por lo tanto, es buen indicador del tráfico automovilístico. El resto proviene de las fuentes fijas de combustión tales como las centrales térmicas de producción eléctrica, las instalaciones de calefacción y las incineradoras.

Los  $\text{NO}_x$  son el origen, junto con el  $\text{SO}_2$ , de los depósitos ácidos y participan en la generación de la contaminación fotoquímica.

- El **monóxido de carbono** ( $\text{CO}$ ): Es un gas inodoro e incoloro que se caracteriza por ser, cuantitativamente, el principal contaminante del aire. Resulta de la combustión incompleta y rápida de los carburantes y combustibles; por lo tanto, se asocia al tráfico automovilístico (particularmente de gasolina) y a los procesos industriales de combustión. Este contaminante es un buen



indicador de las condiciones de tráfico y de la proporción y la evolución de los vehículos de gasolina y diesel dentro de la estructura del parque automovilístico.

- Los **compuestos orgánicos volátiles (COVs)**: Los COVs agrupan numerosos contaminantes entre los cuales están los hidrocarburos aromáticos monocíclicos (en particular el **benceno**, el tolueno, el etilbenceno y los xilenos (BTEX), que participan en la formación de los contaminantes fotoquímicos), los hidrocarburos volátiles (**1,3 butadieno**) y los compuestos carbonílicos.

En entornos urbanos, los COVs provienen fundamentalmente de los gases de escape de los vehículos, de la evaporación de los carburantes y de los combustibles líquidos, y de ciertas actividades industriales.

- Los **hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)**: Son un grupo de sustancias, cuyo compuesto más representativo es el **a-benzopireno**, que proceden del sector industrial

(fabricación de aluminio, preservantes de la madera, ..), de las combustiones domésticas con madera y carbón, y de las emisiones del tráfico (fundamentalmente de los vehículos diesel).

- Los **metales pesados**: Son numerosos, siendo los elementos más importantes el plomo (Pb), el cadmio (Cd), el mercurio (Hg), el arsénico (As), el níquel (Ni), el hierro (Fe), el aluminio (Al), el zinc (Zn) y el magnesio (Mg). Proviene mayoritariamente de las instalaciones industriales, incineradoras y del tráfico automovilístico.

### 2.2.2 Los contaminantes secundarios o contaminación fotoquímica.

La contaminación fotoquímica (o smog fotoquímico) se genera en la troposfera bajo el efecto de la radiación solar, que implica reacciones químicas con otros contaminantes primarios tales como los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), el monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (COVs). El resultado se caracteriza por la formación de compuestos fotooxidantes “secundarios”, siendo el ozono (O<sub>3</sub>) y el PAN (peroxiacilnitratos) los más

corrientes (**smog fotoquímico oxidante**). Los gases oxidantes se forman durante la difusión de los contaminantes primarios a una distancia de unos kilómetros en unas horas. Por esta razón, la presencia de estos gases se observa lejos de las fuentes de emisión de las ciudades (principalmente los automóviles).

Los niveles de contaminación fotoquímica se hacen más notables en verano cuando la actividad solar aumenta el rendimiento de las reacciones químicas.

Algunos autores incluyen también en la categoría de contaminación secundaria las poluciones que se materializan a una escala más grande, tales como la acidificación del medio, depósitos ácidos debido a las emisiones de dióxidos de azufre (SO<sub>2</sub>) y de óxidos de nitrógeno (NOx), y la disminución del espesor de la capa de ozono.

- El **Ozono** (O<sub>3</sub>): Es el principal contaminante fotoquímico. Es un gas incoloro pero que presenta un olor característico, formado por 3 átomos de oxígeno, lo que le convierte en un potente oxidante.

No es emitido directamente a partir de fuentes antropogénicas en cantidades significativas. Varios mecanismos contribuyen a su producción. El más corriente consiste en la formación de la molécula por combinación de una molécula de oxígeno (compuesto de dos átomos de oxígeno) con otro átomo de oxígeno ya liberado durante una reacción química o fotoquímica.

Este gas está presente naturalmente en la atmósfera, en las altas capas de la estratosfera, así como en el aire que respiramos todos los días. Existe un intercambio permanente entre las capas superiores e inferiores del aire, sin embargo la cantidad de ozono transportada desde la estratosfera a la troposfera es mínima. También existen algunas fuentes naturales de O<sub>3</sub>. La contribución de estas fuentes y flujos naturales a los actuales niveles medios de ozono cerca del suelo se calcula en torno al 20%.

Los altos niveles de ozono que se miden cerca del suelo tienen su origen en las reacciones químicas, favorecidas por la **energía solar**, entre los distintos contaminantes emitidos por la actividad humana.



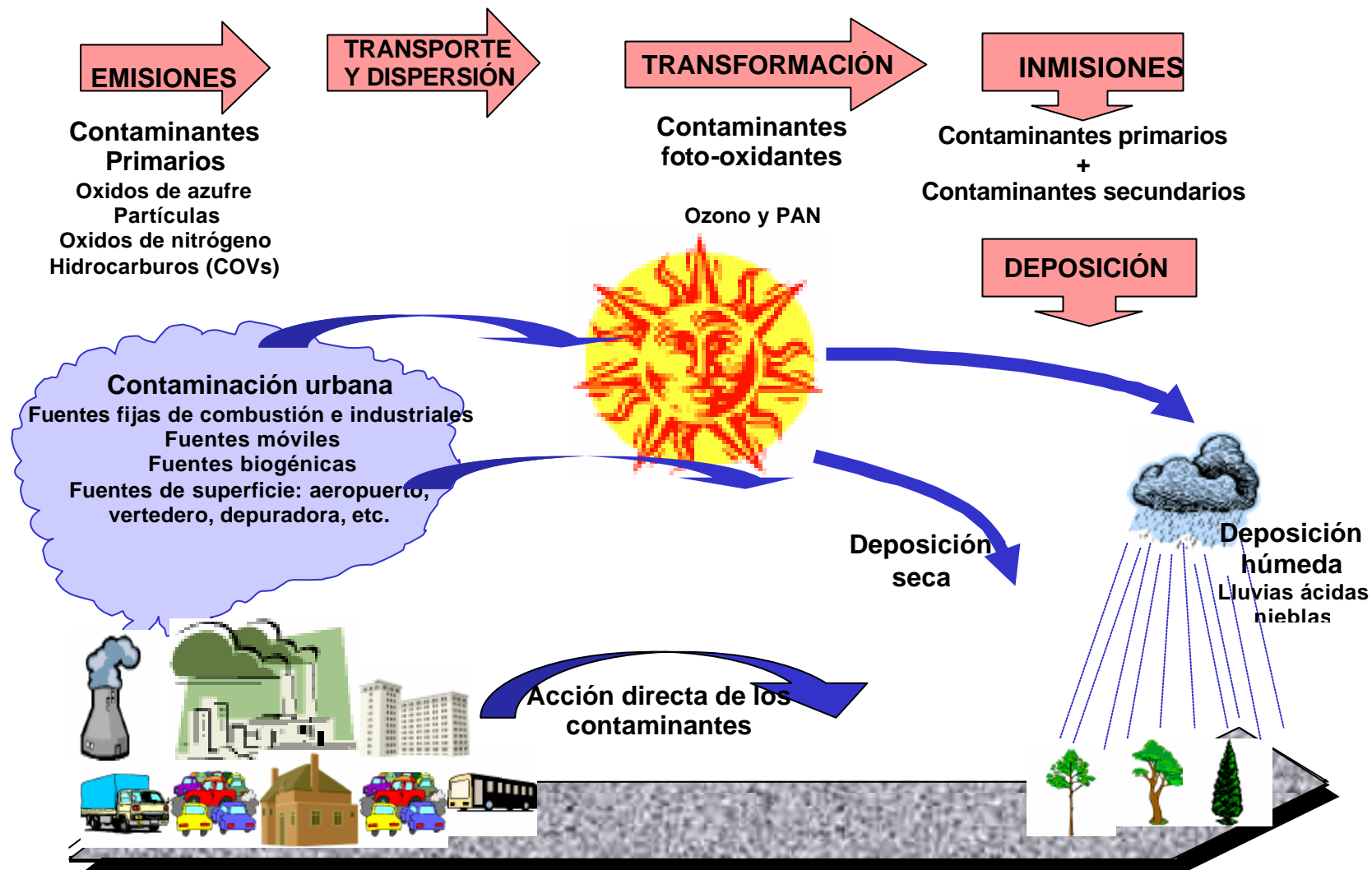
Por tanto, la mayor carga de ozono se produce en verano, sobre todo en días de elevadas temperaturas.

Los contaminantes presentes en los gases de los tubos de escapes de los vehículos motorizados (NO<sub>x</sub>, CO, COVs) son los primeros responsables de su formación. Los procesos químicos de la formación de ozono son muy complejos, y según las proporciones de contaminantes “precursores” presentes, se producirán reacciones de destrucción o bien de producción. Por el hecho de tener reacciones en continuo equilibrio, la concentración de ozono en las zonas de tráfico intenso suele ser inferior que en las periferias de las ciudades.

- Los **Peroxiacilnitratos (PAN)**: La molécula de ozono es, además, muy peligrosa, porque transforma los hidrocarburos presentes en el aire (procedente de la combustión imperfecta en los motores de explosión) en compuestos (alcoholperóxidos y peroxiacílicos) que se asocian al dióxido de nitrógeno para formar un nuevo tipo de contaminante atmosférico, los llamados PAN o peroxiacilnitratos.



Figura 2.2: Ciclo de la Calidad del Aire.



Fuente: Elaboración propia



## 2.3. Transporte y dispersión de los contaminantes.

La contaminación atmosférica se estudia a tres niveles distintos:

- A escala planetaria (**macro escala**): los fenómenos resultan de los impactos a largo plazo de las emisiones de contaminantes. Los más estudiados son el efecto invernadero y la disminución de la capa de ozono.
- A escala regional (**meso escala**), los fenómenos se explican por la dispersión y por la reactividad química de los contaminantes en la atmósfera. Se sienten las consecuencias hasta una distancia de 100 km de las fuentes emisoras durante varios meses. Se trata por ejemplo de la lluvia ácida o de la contaminación físico-química.
- A escala local (**sub meso escala**): los efectos aparecen en la proximidad de las fuentes durante horas o varios días. Son contaminaciones puntuales como las que padecen las grandes ciudades

(episodios de incremento del ozono, etc.). Este nivel de aparición de la contaminación atmosférica es el que más interesa en el presente Plan.

Las emisiones de contaminantes así como los fenómenos de transporte y de dispersión de éstos se producen en la capa más baja de la troposfera, que se denomina “*capa de límite atmosférico*”. Esta capa tiene un espesor comprendido entre varios cientos de metros hasta 1 km y está directamente influenciada por las características de la superficie terrestre.

Los principales factores que determinan la dispersión y el transporte de contaminantes se dividen en dos categorías: meteorológicos y físicos.

### 2.3.1. Los factores meteorológicos.

#### El viento.

Diluye la contaminación emitida en el lugar de emisión, con lo cual una ausencia de viento contribuye a la acumulación de los contaminantes cerca de las fuentes.

### El gradiente vertical de temperatura.

Los movimientos de masas de aire se deben a las diferencias de densidades entre ellas, y las densidades, a su vez, están influenciadas por la temperatura de las masas. El gradiente de temperatura condiciona de esta manera el movimiento (o su ausencia) ascendente o descendente de una capa.

El gradiente de temperaturas se utiliza para definir la estabilidad de la atmósfera. Si la temperatura baja bruscamente, la atmósfera se vuelve inestable lo que facilita la dispersión de los contaminantes. Por lo contrario, la estabilidad atmosférica en la capa de aire favorece la aparición del fenómeno llamado inversión térmica (fig. 2.4.), que impide la dispersión de los contaminantes y conduce a niveles altos de contaminación. Cuando se emiten contaminantes al aire en esas condiciones, se acumulan debido a que los fenómenos de transporte y difusión ocurren demasiado lentos, pudiendo provocar episodios de contaminación atmosférica de consecuencias graves para la salud de los seres vivos.

El fenómeno de inversión térmica se presenta cuando en las noches despejadas el suelo ha perdido calor por

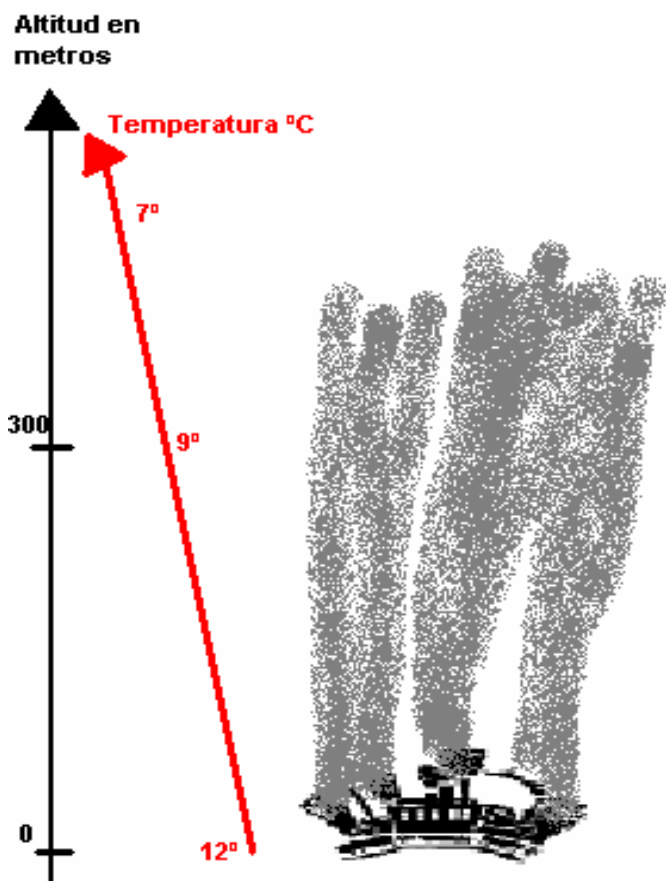
radiación. Las capas de aire cercanas a él se enfrían más rápido que las capas superiores, lo cual provoca que se genere un gradiente positivo de temperatura con la altitud (fenómeno contrario al que se presenta normalmente cuando la temperatura de la troposfera disminuye con la altitud). Esta situación da lugar a que la capa de aire caliente quede atrapada entre las 2 capas de aire frío sin poder circular, ya que la presencia de la capa de aire frío cerca del suelo le da gran estabilidad a la atmósfera al no existir prácticamente convección térmica, ni fenómenos de transporte y difusión de gases, disminuyendo la velocidad de mezclado vertical entre la región que hay entre las 2 capas frías de aire.

### La turbulencia.

La turbulencia es la irregularidad del movimiento del viento y se caracteriza por el cruce de las trayectorias de las masas de aire y por la superposición de una fluctuación irregular, aleatoria y no reproducible de la circulación media del viento. La dispersión de tipo torbellino es el proceso de mezcla más importante en las capas bajas de la tropósfera y aumenta el efecto de dispersión y dilución de los contaminantes.

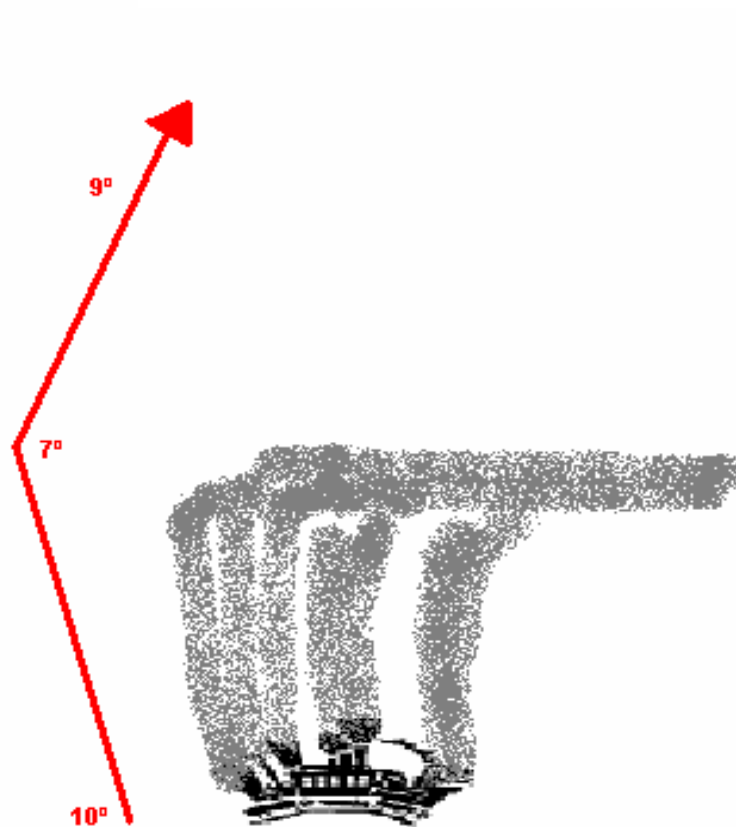


Fig.2.3. Fenómeno normal de dispersión



Fuente: Elaboración propia

Fig.2.4. Fenómeno de inversión térmica



Fuente: Elaboración propia

### 2.3.2. Los factores físicos.

Los factores físicos que intervienen en la dispersión de la contaminación atmosférica son principalmente obstáculos tales como los relieves naturales del terreno y los edificios que modifican el régimen de los vientos. Por ejemplo, el viento puede seguir trayectorias preferenciales que constituyen valles o calles anchas dentro de las ciudades.

La atmósfera terrestre es finita y su capacidad de autodepuración, aunque todavía no es muy conocida, también parece tener sus límites. La emisión a la atmósfera de sustancias contaminantes en cantidades crecientes como consecuencia de la expansión demográfica mundial y el progreso de la industria, han provocado ya concentraciones de estas sustancias a nivel del suelo que han ido acompañadas de aumentos espectaculares de la mortalidad y morbilidad, existiendo pruebas abundantes de que, en general, las concentraciones elevadas de contaminantes en el aire atentan contra la salud de los seres humanos.

## 2.4. La contaminación atmosférica de las ciudades y su impacto sobre la salud.

Una persona respira cada día aproximadamente 15 m<sup>3</sup> de aire que contienen contaminantes más o menos agresivos para su salud. El aparato respiratorio es, por su situación y función, el órgano más expuesto a estas agresiones. Pero otros también pueden ser susceptibles de sufrir la acción nociva de los contaminantes.

Cada año la contaminación del aire provoca millones de víctimas y es responsable de afecciones graves; problemas respiratorios y pulmonares, asma, enfermedades cardiovasculares, etc. Se estima que tres millones de personas mueren cada año por consecuencia de la contaminación atmosférica, lo que representa un 5% de los 55 millones de decesos anuales en el mundo. Estas estimaciones tienen un margen de incertidumbre relativamente alto que nos puede hacer pensar que la situación podría ser todavía peor.

Otros estudios ponen en evidencia la relación directa entre tasa de mortalidad/morbilidad y las concentraciones diarias



de partículas en suspensión, así como la relación entre las concentraciones elevadas de dióxido de nitrógeno y el aumento de decesos por enfermedades respiratorias en la población de niños con edades inferiores a los 5 años.

En los últimos años, un número creciente de estudios sugiere que los incrementos en los niveles de contaminación atmosférica pueden causar efectos a corto plazo sobre la salud, incluso con niveles de contaminación cercanos o inferiores a los considerados hasta ahora como seguros.

Un estudio llevado a cabo en Vitoria-Gasteiz, utilizando datos de contaminación atmosférica correspondientes al periodo 1990-1994, puso de manifiesto una asociación estadísticamente significativa entre las partículas en suspensión (humos negros) y la mortalidad en ancianos durante el semestre frío<sup>(4)</sup> (octubre-marzo). La asociación con el SO<sub>2</sub> no fue significativa. El estudio no incluyó otros contaminantes al no disponerse en esas fechas de mediciones automáticas.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido una serie de valores guía de la calidad del aire cuyo

objetivo es proporcionar una base para proteger la *Salud Pública* de los efectos nocivos de la contaminación del aire, así como para eliminar, o reducir al mínimo, los contaminantes que son conocidos por ser peligrosos para la salud y el bienestar de los seres humanos. Sin embargo, por ejemplo, para el caso de las partículas o el ozono no se ha encontrado un umbral de concentración por debajo del cual no existan efectos.

#### 2.4.1. Afecciones a la Salud Humana: el receptor.

Los contaminantes atmosféricos pueden dañar la salud de los seres humanos por tres vías distintas:

- **Vía respiratoria.** La inhalación de contaminantes puede ser el origen de enfermedades de otorrinolaringología, pero sobre todo tendrá repercusiones sobre el estado bronco-pulmonar por irritación de las mucosas de las vías respiratorias y por reacción con las células que forman las paredes de los alvéolos pulmonares. Algunos gases tóxicos pueden impedir el buen funcionamiento del transporte del oxígeno hacia los tejidos. Cuando las concentraciones son

suficientemente altas pueden aparecer afecciones circulatorias, renales y cerebrales.

- **Vía digestiva:** La aparición de contaminantes en los suelos y en las aguas (ríos, lagos, etc.) o directamente en los vegetales pueden llevar a una contaminación de los productos con los que nos alimentamos todos los días. Los metales (plomo, mercurio, cadmio, etc.) son los que se presentan con más frecuencia. La toxicidad de estos contaminantes daña esencialmente los huesos, el sistema nervioso, los riñones y el hígado.
- **Vía cutánea.** Excepto en caso de contaminación accidental o durante conflictos armados, el contacto cutáneo con los contaminantes es menos frecuente. El agente tóxico actúa directamente por contacto sobre las células de revestimiento y genera una irritación seguida de una inflamación. En ciertos casos, la gravedad de la afección puede ser muy importante y dejar secuelas permanentes.

La edad, el estado de salud y las condiciones de vida de las personas son parámetros que modifican la acción de

los contaminantes sobre la salud. Los niños, cuyos aparatos respiratorios son aún frágiles, o las personas ancianas son más sensibles a las agresiones del exterior; los contaminantes encontrarán aquí un terreno favorable. Las personas que padecen de asma o de deficiencias respiratorias verán su estado de salud deteriorarse incluso en ambientes relativamente poco contaminados. De la misma manera, las personas sometidas a ambientes contaminantes, por sus entornos profesionales o por sus costumbres de fumadores, serán más sensibles a las agresiones exteriores.

La duración de la exposición, así como la concentración de los contaminantes, son también factores importantes del impacto sobre la salud humana. Por un lado, la cantidad de contaminante absorbido será más importante si el receptor está mucho tiempo en su presencia, y por otro lado, la capacidad de “autoreparación” del organismo se puede saturar si queda expuesto a la contaminación durante mucho tiempo.



#### 2.4.2. Afecciones a la Salud Humana: los contaminantes.

El tipo de contaminante también es importante a la hora de determinar el impacto sobre la salud.

- **Partículas:** Sus efectos dependerán de su tamaño (facilidad de penetración en las vías respiratorias), de su forma y de su composición química. Uno de los motivos por los que las partículas causan preocupación es que no parece haber ningún umbral de concentración por debajo del cual no existan efectos. No obstante, aún no se conoce el mecanismo preciso que ocasiona los daños aunque sí se sabe que sus efectos dependen del tamaño, de la composición química y de las características físicas de la partícula. Las partículas que forman los aerosoles (dispersiones de sustancias sólidas o líquidas en aire) penetran en el cuerpo humano a través de las vías respiratorias. Las partículas superiores a 5 µm de diámetro quedan retenidas en la cavidad nasal (pelo y mucosas) o en las mucosas de la tráquea. Las comprendidas entre 0,5 y 5 µm penetran hasta las vías inferiores depositándose en los bronquios, siendo eliminadas a las pocas horas mediante expectoración. Las

partículas de diámetro inferior a 0,5 µm son las que representan un riesgo mayor, al depositarse en los alvéolos pulmonares de donde es difícil eliminarlas. Los efectos sobre la fauna coinciden con los anteriores.

Las partículas secundarias se forman en buena medida por la reacción de otros contaminantes, como NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, COV, amoníaco y O<sub>3</sub>. Suponen una parte sustancial de la concentración total de partículas, que causa, entre otras cosas, un aumento de los índices diarios de ingresos hospitalarios y de mortalidad.

Las partículas de hollín provocan una reducción de la actividad fotosintética en las plantas, reduciendo la cantidad de energía luminosa disponible al provocar el ennegrecimiento de las hojas sobre las que se depositan. Pueden obturar los orificios de las estomas, a través de las cuales las plantas respiran.

Además de provocar alteraciones estéticas a causa de su deposición sobre los materiales, en muchos casos la composición química de las partículas depositadas acelera los procesos de corrosión.

Por último, uno de los efectos más notables de las partículas es la reducción de la visibilidad, la cual es



debida a la extinción de la luz y al halo que produce la dispersión de la luz por las partículas.

- **SO<sub>2</sub>**: Existe una clara relación entre las enfermedades respiratorias del tracto superior y los niveles bajos de SO<sub>2</sub>. A causa de su inhalación se puede desencadenar un proceso de bronco-constricción transitoria en el tracto respiratorio superior. Se considera como un irritante de mediana potencia del aparato respiratorio, ya que se precisarían concentraciones muy elevadas para provocar la muerte.

El aumento por encima de las concentraciones medias permisibles (700 µ/m<sup>3</sup> en 2 horas y 400 µ/m<sup>3</sup> en 12 horas) provoca irritación sobre los ojos, constituyendo un riesgo para las personas normales, acentuándose éste en personas asmáticas. Los efectos crónicos de su exposición se evidencian en estudios de mortalidad, observándose un mayor número de muertes tempranas asociadas a enfermedades pulmonares y cardiovasculares.

Los efectos provocados por el SO<sub>2</sub> a consecuencia de procesos agudos de exposición, en el caso de las hojas, se manifiestan como manchas iniciales que pueden desembocar en necrosis de los tejidos. En los

casos crónicos, las hojas adoptan una coloración amarillo-rojiza.

Los efectos de los óxidos de azufre sobre los materiales principalmente son: corrosión metálica, ataque de los materiales de construcción, deterioro de fibras sintéticas, plásticos en general, cuero, etc.

- **CO**: Desde el punto de vista sanitario, el CO se combina con la hemoglobina de la sangre formando carboxihemoglobina que ocasiona una reducción en el transporte de oxígeno a los tejidos. Entre sus efectos más destacados hay que señalar los que produce en las mujeres embarazadas. En el período de gestación el consumo de oxígeno aumenta de un 15 a un 25% sobre las necesidades normales. En estas circunstancias, el CO de la sangre de la madre atraviesa la barrera placentaria, de modo que la concentración de CO en el feto es un 10 o 15% mayor que la que corresponde a la madre. De esta forma, si se produjese un episodio de exposición aguda de la madre, ésta no sería especialmente afectada, pero el feto podría morir por anoxia.

Las especies vegetales son sensibles a esta sustancia, de modo que a muy altas concentraciones



se detectan trastornos respiratorios con caída generalizada de las hojas, acarreado en ocasiones la muerte de la planta.

- **Compuestos de nitrógeno:** Entre los NO<sub>x</sub> el componente más estudiado es el NO<sub>2</sub>, puesto que es hasta 4 veces más tóxico que el NO. Sus efectos en humanos y animales se centran sobre todo en el aparato respiratorio, habiéndose observado que cuando se supera una concentración media de NO<sub>2</sub> de 190 µg/Nm<sup>3</sup> en el 40% de los días, aumenta la frecuencia de las infecciones de las vías respiratorias. Se ha comprobado que provoca daños al parénquima pulmonar, e incluso ante exposiciones crónicas a concentraciones bajas el resultado es la aparición de cambios patológicos semejantes a los del enfisema pulmonar. Adicionalmente, determina la inhibición de la depuración mucociliar, la fagocitosis y la respuesta inmunológica en el pulmón, significando una disminución de la resistencia del pulmón ante las infecciones. La exposición de las plantas a los NO<sub>x</sub> da como resultado alteraciones y pérdidas de producción en algunas especies, a concentraciones de 1 ppmv.

- **Compuestos orgánicos:** No parecen existir datos que indiquen un efecto generalizado y directo de los compuestos orgánicos (COVs, HAP) contenidos en la atmósfera sobre la salud de los seres humanos y/o animales, los materiales expuestos al exterior o las plantas. Sin embargo, determinados hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP), entre los que destaca el α-benzopireno, presentes en el hollín y los alquitranes, así como otros compuestos orgánicos, como ciertas dioxinas, muestran una alta actividad carcinógena en el hombre y/o los animales.

Dentro de los COVs conviene destacar al benceno, reconocido carcinogénico humano. El efecto a su exposición a largo plazo es la leucemia. No es posible señalar una concentración a la que el nivel de riesgo sea nulo. Asimismo, el 1,3-butadieno es un carcinogénico genotóxico, que causa daños en la estructura genética, además de varias variedades de cánceres.

Los vegetales son sensibles a dosis infinitesimales de etileno. Por ejemplo, una concentración de una cienmillonésima puede generar lesiones importantes, caracterizadas por un aumento de vacuolas, y



desencadenar lo que se denomina “fiebre vegetal” caracterizada por trastornos respiratorios y caída generalizada de las hojas, acarreado a veces la muerte del vegetal (síntomas que también se dan en el caso de sobre exposiciones de CO).

- **Ozono:** El ozono forma en la atmósfera superior una pantalla de protección esencial contra los rayos solares más perniciosos, pero en el suelo es otro agente irritante de los pulmones cuyos efectos en la salud son similares a los de las partículas, resultando además perjudicial para la vegetación, los bosques y los edificios. La exposición a altas concentraciones de ozono causa ligera irritación en los ojos y fosas nasales. Una alta exposición prolongada daña las vías respiratorias, seguido de reacciones inflamatorias, así como la disminución de las defensas del organismo receptor. Diversos estudios realizados en el marco de APHEA<sup>(5)</sup> (metodología europea para el estudio de los efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la salud) en ciudades europeas y estadounidenses sugieren que el ozono afecta a la mortalidad.

La gravedad de sus efectos en la salud humana depende de la concentración, de la duración de la exposición y del nivel de actividad durante la exposición. Investigaciones recientes indican que, como ocurre en el caso de las partículas, no hay un umbral de concentración por debajo del cual no existan efectos en la salud. El valor guía para la protección de la salud humana no incluye un margen de seguridad y se basa en la aceptación de un cierto riesgo para la población.

Se ha comprobado que los niveles de ozono detectados en la UE tienen una serie de efectos sobre la vegetación, como lesiones visibles en las hojas, disminución del crecimiento y la producción, o la alteración de la sensibilidad a agresiones bióticas y abióticas, que provocan pérdidas en el valor económico, en los rasgos cualitativos y en la biodiversidad.

Por último, contribuye directa e indirectamente a acelerar el deterioro de los materiales.

- **Metales pesados:** Este grupo de contaminantes es de especial relevancia por el riesgo que representan para la salud humana. Dentro de los diferentes metales que

son lanzados a la atmósfera, tiene una especial importancia el plomo, tanto por sus efectos como por la gran cantidad de fuentes que lo generan. La acumulación de este agente puede producir alteraciones en el comportamiento, afectar a la inteligencia de los niños y producir malformaciones en los fetos de madres gestantes. Se ha comprobado que de la cantidad total de plomo inhalado, el 35% (de media) se introduce en el torrente sanguíneo de donde se distribuye por todo el organismo, acumulándose una cantidad no determinada en los huesos, mientras que el resto es expulsado al exterior a través de la orina. En el torrente sanguíneo interfiere en la síntesis del grupo hemo, dificultando así el desarrollo y maduración de los glóbulos rojos, y actúa en el tubo digestivo donde puede favorecer la aparición de úlceras. El plomo que se acumula en los huesos parece que altera la osificación normal del esqueleto debido a trastornos en la fijación del calcio. Es capaz, asimismo, de dificultar la actividad enzimática.

- **El flúor y sus derivados:** Sus efectos directos sobre el hombre son escasos, ya que se localiza en regiones cuyas industrias emiten vapores de flúor, mientras que

están identificados los que ejerce tanto en los vegetales como en los animales. Debido a su carácter bioacumulable, es posible que finalmente alcance al hombre al ascender por la cadena trófica, presentando por lo tanto efectos perjudiciales.

La contaminación debida a estos compuestos es responsable de la fluorosis, cuyas lesiones más características se localizan en los dientes y en los huesos de los animales. Las alteraciones dentales se manifiestan a través de manchas en el esmalte, desportillamientos, desviaciones y distrofias, y se acompañan de dolores al realizar la masticación.

- **El cloro y sus derivados:** Existe un número no determinado de sustancias tóxicas presentes en el aire, que responden a la consideración de organoclorados (cloruro de vinilo, CFC'2, dioxinas, PCB's, etc) que pueden provocar efectos muy importantes en el ser humano. Así, encontramos compuestos con carácter mutagénico, carcinogénico, etc. Sobre estos contaminantes no se dispone aún de información relativa a sus efectos en episodios de exposición prolongada a bajas concentraciones. No obstante se ha comprobado que niveles del orden 1 ppmv de ácido



clorhídrico (ClH) o cloro (Cl<sub>2</sub>) pueden afectar seriamente la vida de las plantas.

La Tabla 2.1. presenta un resumen de los principales contaminantes, sus fuentes de emisión y las afecciones que ocasionan sobre la salud humana.

#### 2.4.3. Los valores guía de calidad del aire propuestos por la Organización Mundial de la Salud.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) produce guías de calidad del aire para más de una veintena de contaminantes. Estas guías están elaboradas para suministrar información básica y orientar a las autoridades nacionales e internacionales en la evaluación y gestión de los riesgos ambientales

Los valores guía de la OMS que se presentan a continuación no tienen ningún valor normativo. Tienen como objetivo “guiar” al legislador nacional para determinar los límites de contaminación permitidos en un territorio. Para ello, deben también considerarse otros criterios, tales como los niveles de exposición y las condiciones socioeconómicas del país o la región de referencia.

A pesar de que estos valores no sean norma legal, resulta necesario, o por lo menos interesante, dedicar una parte de este Plan a su análisis puesto que, por una parte informan de los límites de contaminación a partir de los cuales la salud humana está afectada, y por otro lado permitirán posteriormente, establecer cuál es la situación actual de la ciudad de Vitoria-Gasteiz en cuanto al cumplimiento de estos valores.

La Tabla 2.2 resume los valores guía establecidos por la OMS tras la realización de estudios epidemiológicos y pruebas de exposición de individuos sensibles, así como animales, a niveles altos de contaminación.

Las partículas en suspensión no se tienen en cuenta en la Tabla 2.2. puesto que, según la OMS, la información disponible sobre las afecciones a la salud no permite establecer recomendaciones estándar para límites de concentraciones a corto plazo, ni tampoco a medio-largo plazo.



Tabla 2.1. Resumen del impacto sobre la salud de los principales contaminantes

CONTAMINANTES	FUENTE / ORIGEN	IMPACTO SOBRE LA SALUD HUMANA
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Combustión del carbón y gasóleo con azufre	Irritación y espasmos de los bronquios
Partículas en suspensión (PM)	Combustión industrial Automóvil (Diesel)	Irritación de las vías respiratorias Problemas cardíacos Cancerígenas
Oxidos de nitrógeno (NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> )	Combustión del aire a una temperatura elevada	Irritación de los bronquios
Ozono (O <sub>3</sub> )	Acción del sol sobre los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y los hidrocarburos	Irritación de los ojos y de los bronquios Favorece el asma
Monóxido de carbono (CO)	Combustiones procedentes del transporte	Intoxicación según cantidad inhalada
Hidrocarburos	Combustión, evaporación de los carburantes. Industria del petróleo	Irritación de las mucosas Efectos mutagénicos Cancerígenos
Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	Combustión y evaporación de los carburantes	Cancerígeno
1,3-Butadieno	Combustión de los combustibles fósiles	Cancerígeno. Genotóxico
Aldehídos	Oxidación de hidrocarburos, disolventes, pinturas, barnices, pegamentos, etc.	Irritación de los bronquios Posible cancerígeno
Plomo (Pb)	Combustión de la gasolina	Saturnismo: afección de los glóbulos rojos, del hígado y de los riñones
Otros metales	Incineración materiales y pinturas	Efectos diversos: cerebro, riñones, etc.
Radón (Rn)	Natural en los suelos Materiales de construcción	Cancerígeno
Amianto	Materiales de construcción	Cancerígeno

Fuente: Organización Mundial de la Salud (OMS/WHO)

Tabla 2.2. Resumen de los valores guía de la Organización Mundial de la Salud.

Compuesto	Concentración anual en el aire ambiente (mg/m <sup>3</sup> ).	Efecto sobre la Salud	Nivel observado de efecto sobre la Salud (mg/m <sup>3</sup> ).	Factor de incertidumbre	Valor Guía (mg/m <sup>3</sup> )	Periodo de tiempo de referencia
Monóxido de carbono	500-7.000	Nivel crítico de CO en la sangre < 2,5%	n.p	n.p	100.000 60.000 30.000 10.000	15 min. 30 min. 1 horas 8 horas
Plomo	0,01-2	Nivel crítico de Pb en sangre < 100-150 mg Pb/l	n.p	n.p	0,5	1 año
Dióxido de nitrógeno	10-150	Cambios en la función pulmonar de los asmáticos	365-565	0,5	200 40	1 hora 1 año
Ozono	10-100	Reacciones en funciones respiratorias	n.p	n.p	120	8 horas
Dióxido de azufre	5-400	Cambios en funciones respiratorias de los asmáticos  Aumento de los síntomas respiratorios en individuos sensibles	1.000 250 100	2 2 2	500 125 50	10min. 24 horas 1 año

Fuente: OMS/WHO

## Referencias al Capítulo 2.

- (1) Ley 38/72, de 22 de diciembre, de Protección del Medio Ambiente Atmosférico.
- (2) Universidad Autónoma de Méjico.
- (3) Consejo de Europa.
- (4) Efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad: resultados del Proyecto EMECAM en Vitoria-Gasteiz. 1990-1994. María José Pérez, Andrés Alonso. Ayto. de Vitoria-Gasteiz. Revista Española de Salud Pública. 1998.
- (5) Katsouyanni K, Schwartz J, et al. Short-term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiological time-series data. The APHEA protocol. J. Epidemiol. Comm. Health 1996.

