



CURSO DE AGENTE DE SALUD MEDIOAMBIENTAL

1



CURSO DE AGENTE DE SALUD MEDIOAMBIENTAL.



La creciente aplicación del concepto de DESARROLLO SOSTENIBLE en todos los ámbitos, responde a la necesidad de preservar el ambiente para asegurar el futuro de la humanidad. Para conseguir este objetivo es fundamental partir de un conocimiento concreto de los problemas ambientales y de una buena formación para solucionarlos.

La naturaleza disciplinaria de los procesos a estudiar en el campo ambiental, junto con la diversidad de gestión que deben aplicarse, requiere constantes innovaciones y actualizaciones.

Este curso se centra en la contaminación atmosférica, la naturaleza de los contaminantes, las fuentes y procesos de estos contaminantes, el control de la contaminación y el muestreo y análisis de la contaminación atmosférica.

Se divide en cuatro módulos que desarrollamos a continuación:

PROGRAMA:

- **MODULO I:** Breve descripción de sensibilización ambiental.
 - Introducción al concepto de medio ambiente.
 - El ser humano y el medio ambiente.
 - Desarrollo sostenible.
 - La contaminación y el deterioro de los recursos naturales.
 - Los principales problemas globales.
- **MODULO II:** Introducción y estudio en general del medio en el que se produce la contaminación atmosférica.
 - Introducción a la contaminación atmosférica.
 - Estructura y composición de la atmosfera.
 - El clima y la contaminación atmosférica.

- **MODULO III:** La contaminación por fuentes materiales.
 - Contaminantes primarios. Fuentes de contaminación.
 - Contaminantes secundarios. Efectos de la contaminación atmosférica.
 - Contaminación biológica.
 - Medida de la contaminación Atmosférica.
- **MODULO IV:** Contaminación por fuentes de energía.
 - Contaminación acústica. Principios físicos y psico-acústicos.
 - Contaminación acústica. Efectos, medida y control de la contaminación acústica.
 - Contaminación por radiaciones. Principios físicos y medida de las radiaciones
 - Contaminación por radiaciones. Efectos sobre la salud y medidas de radioprotección.

Completa los materiales del curso una serie de artículos y publicaciones de la Comisión Europea sobre SALUD PÚBLICA y la ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, OMS (algunos de ellos redactados en inglés) que servirán, sin duda al alumno para conocer la situación actual así como para realizar algunas partes de la evaluación.



MODULO I: BREVE DESCRIPCION DE SENSIBILIZACIÓN AMBIENTAL.

INTRODUCCIÓN AL CONCEPTO DE MEDIO AMBIENTE:

El **medioambiente** es el compendio de valores naturales, sociales y culturales existentes en un lugar y un momento determinado, que influyen en el aspecto económico y social del ser humano y en el futuro de las generaciones venideras. Es decir, no se trata sólo del espacio en el que se desarrolla la vida de los seres vivos. Abarca, además, seres humanos, animales, plantas, objetos, agua, suelo, aire y las relaciones entre ellos, así como elementos intangibles como la cultura y la información. No obstante, en este capítulo nos referiremos exclusivamente al componente "natural" del medio ambiente. Por esta razón, es importante que nos situemos y comprendamos la dimensión real de otro concepto cuyo uso es muy común en estos tiempos: **la ecología**.

La Ecología es una ciencia que nació en 1869. El biólogo alemán Ernest Haeckel la introdujo por primera vez en el vocabulario científico. Para él se trataba de una ciencia que debía estudiar las relaciones de los seres vivos con su medio. Posteriormente, amplió esta definición al estudio del medio, incluyendo también el transporte y transformación de la energía y la materia por parte de los seres vivos.

En la actualidad, se reconoce a la Ecología como la ciencia que se encarga del estudio y análisis de los ecosistemas.

Se denomina **ecosistema** al espacio constituido por un medio físico concreto y todos los seres que viven en él, así como las relaciones que se dan entre ellos.

Todos los seres vivos se desarrollan dentro de un ecosistema. Ejemplos de ecosistema serían un bosque, un estanque o una ciudad, con sus correspondientes plantas y animales, pero también -y a otra escala- lo sería, un árbol o nuestra propia piel.

Es muy importante reseñar que estos ecosistemas no son estáticos, sino que, por el contrario, evolucionan y cambian bajo unas condiciones determinadas.

En los procesos relacionados con la vida los equilibrios siempre son dinámicos.

Entre los diferentes seres vivos que habitan en la Tierra destacan los animales y las plantas. Nos referiremos a **la flora** de un lugar como el conjunto de especies de plantas que allí viven.

Cuando hablemos de las diferentes especies animales que habitan un determinado lugar, estamos haciendo referencia a la **fauna**. Quizá merezca la pena resaltar que existen muchos seres vivos que no son ni animales ni plantas. Los hongos o las bacterias, por ejemplo, son dos grupos independientes de éstos. Su papel dentro de la naturaleza es también de gran importancia.

Al territorio concreto en el que viven varias especies, tanto animales como vegetales y de otro tipo, que mantienen ciertas relaciones de dependencia entre ellas y con el lugar al que se han adaptado se le denomina **hábitat**.

En el espacio terrestre, un lago sería un ecosistema en el que podríamos distinguir al menos dos hábitats diferentes: las orillas y el fondo del lago. Los seres vivos que se desarrollan en cada una de estas partes son diferentes. Esto se debe a que, en cada caso, las condiciones ambientales son distintas.

En el ámbito marítimo, un hábitat muy característico son las charcas que se forman entre los límites de pleamar y bajamar. Los seres que allí viven evolucionan bajo unas condiciones muy determinadas impuestas por el régimen de mareas, que definen claramente un hábitat propio.

En cada ecosistema conviven y, como ya hemos mencionado, se interrelacionan los diferentes seres vivos. En lugares como la Antártida o algunos desiertos, el número de especies es menor debido a las condiciones tan duras que allí se dan. Por el contrario, en otros como las selvas el número de especies se cuenta por miles.

El concepto que alude a la variedad de seres vivos diferentes que viven en un territorio determinado se denomina **biodiversidad**. Este término abarca todo lo relativo a la diversidad de la vida; ya sea la referida a la de las formas de vida o a la complejidad interna de los ecosistemas.

EL SER HUMANO Y EL MEDIO AMBIENTE:

8

El ser humano es, en teoría, sólo una especie más. Sin embargo, su gran capacidad para explotar los recursos naturales y su dominio sobre la energía lo convierten en una especie diferente a las otras. La relación del ser humano con los ecosistemas en los que ha vivido ha ido cambiando a lo largo de su historia de acuerdo con el incremento en el número de seres humanos sobre la Tierra y con el desarrollo de su tecnología.

Del medio ambiente proceden todos los recursos que utilizamos para vivir: aire, agua, alimentos, etc. Sin embargo, también nuestros residuos y las consecuencias de nuestro desarrollo acaban en él. Al efecto que una determinada acción humana produce en el medio ambiente se le denomina **impacto ambiental**.

La construcción de un embalse, por ejemplo, lleva asociado un importante cambio sobre el ecosistema en el que se implanta. El impacto más claro es el que se produce sobre los peces que allí viven, ya que interrumpe su recorrido natural. Incluso el aumento de la humedad atmosférica en torno al embalse condiciona la presencia de ciertas especies.

Pero no sólo producen impactos las grandes obras. El hecho de levantar una piedra puede suponer la destrucción del hogar de muchos seres vivos. El uso de la calefacción o el calor desprendido por los coches provocan un aumento en la temperatura de las ciudades en dos o tres grados respecto a sus alrededores. Esto altera las características ambientales y, por lo tanto, las formas de vida existentes en los ecosistemas urbanos.

Uno de los efectos más graves de nuestra relación con la naturaleza es la contaminación, que se define como la acción de alterar la pureza o condiciones normales del medio por agentes químicos o físicos, que pueden ocasionar un peligro o un daño en el sistema ecológico, alterando su equilibrio. Claros ejemplos de **contaminación** pueden detectarse en la atmósfera de los polígonos industriales de las grandes ciudades o en las aguas de algunos de nuestros ríos.

Las sustancias contaminantes producidas por la acción humana están presentes en cualquier medio, perturban la vida de los seres vivos y producen efectos nocivos al medio, que repercuten, además, en nuestra calidad de vida. De todos los **contaminantes**, podríamos destacar los metales pesados, que son muy perjudiciales para los seres vivos y poseen una gran persistencia en el medio en el que se depositan.

Cuando hablamos del conjunto de desperdicios que se introducen en el medio ambiente como consecuencia de la acción humana, hacemos referencia a los vertidos líquidos, emisiones gaseosas y depósitos de residuos sólidos.

El alpechín, residuo de las almazaras durante el proceso de extracción del aceite de oliva, solía ser expulsado hasta hace pocos años a los cauces de los ríos sin una depuración previa. Esto conllevaba la destrucción de su fauna. Desgraciadamente, no es extraño que cada cierto tiempo se produzcan vertidos de petróleo y sus derivados al mar. Sólo es cuestión de prestar un poco de atención a los medios de comunicación para conocer sus fatales consecuencias. Nuestra acción sobre el medio ambiente se traduce en el aumento del volumen de residuos que día a día generamos. Hablamos de **residuos** para referirnos a cualquier sustancia u objeto inservible, del cual su poseedor se desprende. La primera medida a adoptar en materia de residuos es la **reducción** de los mismos, tanto en cantidad como en peligrosidad. En

segundo lugar, buena parte de los residuos no son realmente objetos o sustancias inservibles, sino que pueden volver a aprovecharse (**reutilización**), y en tercer lugar, pueden ser transformados en nuevas materias primas (**reciclaje**) o para generar energía. Llamamos **valorización** al aprovechamiento de los residuos de manera que se impide que vayan a parar al medio ambiente.

Por tanto, la reutilización y el reciclaje son métodos muy valiosos para ahorrar materias primas y energía. De esta forma se incidirá en la menor profusión de vertederos. El reciclaje de ciertos materiales como el vidrio y el papel suponen un importante ahorro en la utilización de materias primas vírgenes. Existen ciertos materiales que, tras haber sido reciclados, prácticamente no pierden propiedades respecto a su estado inicial, por lo que una misma materia prima puede ser procesada en la industria más de una vez, evitando su extracción del medio ambiente y su vertido como residuo contaminante. Además del uso racional de las materias primas de las que nos abastecemos, es importante pensar en la energía que utilizamos en nuestras industrias y en la vida cotidiana.

Durante toda la historia del hombre, éste ha recurrido preferentemente a formas de energía no renovables, es decir, que tras su uso sistemático acabarán por agotarse. Entre ellas podríamos destacar la madera procedente de la tala de árboles, el carbón o el petróleo.

Sin embargo, existen energías renovables que se obtienen de fuentes inagotables, es decir, fuentes que no se gastan con su utilización o que tardan un corto periodo de tiempo en regenerarse. En la energía renovable se emplea la fuerza del viento (eólica), del agua (hidráulica), la radiación del sol (solar) o el poder calorífico de la materia orgánica (biomasa).

DESARROLLO SOSTENIBLE:

La relación del ser humano con la naturaleza no se ha desarrollado de la forma más correcta. En gran medida, esto se ha debido al desconocimiento de las consecuencias negativas en su modo de vivir. A finales de los años ochenta surgió un concepto que hoy día tienen asumido la mayoría de los países y del cual depende nuestro futuro: **el desarrollo sostenible**.

Este término se generaliza en el Informe Brundtland, también conocido como "Nuestro futuro común" (Comisión Mundial para el Desarrollo del Medio Ambiente de las Naciones Unidas, 1987).

El desarrollo sostenible puede definirse como aquel modelo de desarrollo que busca satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la satisfacción de las necesidades de generaciones futuras.

Un ejemplo claro de tendencia hacia el desarrollo sostenible en la pesca sería la utilización de artes de pesca selectivas, la realización de paradas biológicas que permitan la regeneración de los caladeros, los cultivos marinos y la acuicultura.

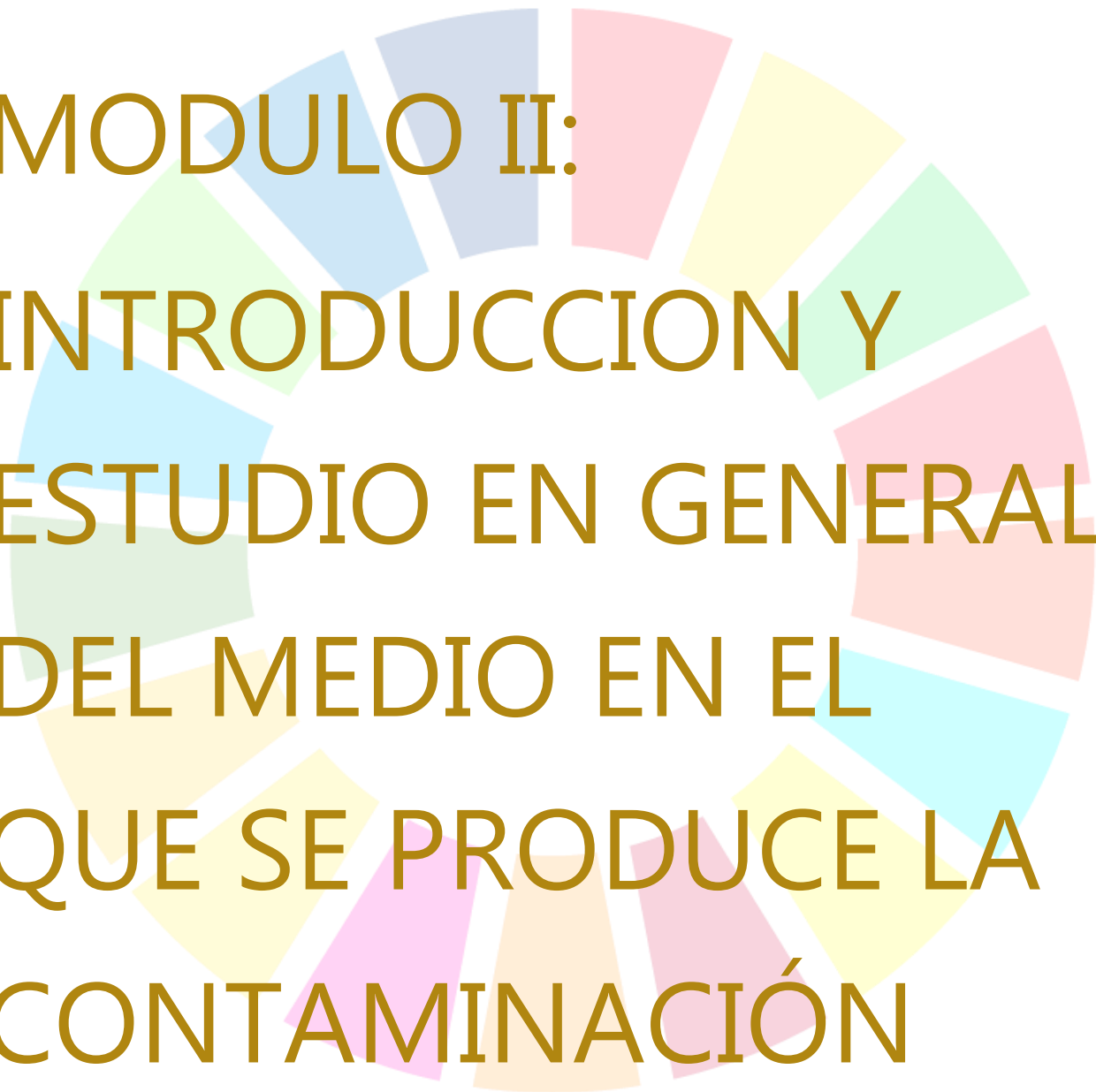
Hace pocos años surgió el Principio "quien contamina paga". Este principio viene recogido en el artículo 174 del Tratado de la Unión Europea y establece que todo el que contamina debe pagar por el daño ecológico causado. Con arreglo a este principio, los responsables de un acto de contaminación han de pagar los costes de las medidas necesarias para eliminarlo, reducirlo a un nivel jurídicamente admitido o restituirlo al estado original.

PRINCIPALES PROBLEMAS GLOBALES DEL MEDIO AMBIENTE:

Entre los problemas más representativos, y a su vez más perjudiciales, podemos destacar:

- El efecto invernadero.
- El agujero de la capa de ozono.

- La acidificación del suelo y el agua.
- La contaminación de las aguas.
- La contaminación de los suelos.
- Los residuos urbanos.
- Los residuos industriales.
- Los residuos sanitarios.
- Los residuos agrícolas y ganaderos.
- El deterioro del medio natural.
- La pérdida de la biodiversidad en el mundo.
- El agotamiento de los recursos hídricos.
- La deforestación y desertificación.



MODULO II: INTRODUCCION Y ESTUDIO EN GENERAL DEL MEDIO EN EL QUE SE PRODUCE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFERICA.

➤ *INTRODUCCION A LA CONTAMINACION ATMOSFERICA.*

La percepción de la contaminación atmosférica como problema ambiental es un hecho relativamente reciente. Los procesos de industrialización y desarrollo tecnológico experimentados por nuestra sociedad desde principios del siglo XX, construyen el origen fundamental de éste y otros problemas ambientales contemporáneos.

La generación de energía y el transporte dependen del consumo de grandes cantidades de combustibles, lo que conduce a un mayor vertido y acumulación de productos de combustión en la atmósfera. Los procesos de combustión son la principal causa de contaminación química en la atmósfera, pero no la única ya que la producción y el consumo de diversos compuestos químicos de uso industrial y doméstico, origina la emisión a la atmósfera de sustancias que incluso en bajas concentraciones son capaces de producir severos efectos sobre los ecosistemas y sobre la salud, a la vez que alteran el equilibrio físico –químico de la atmósfera.

La contaminación atmosférica que en un principio parecía un problema asociado a las grandes ciudades y principalmente preocupante para la salud se ha convertido en los últimos años en una grave amenaza para el equilibrio de los ecosistemas.

La reducción de la capa de ozono, la lluvia ácida o el efecto invernadero son componentes de este proceso que afecta y preocupa en el ámbito internacional.

Concepto y clasificación de la contaminación atmosférica:

Tradicionalmente la contaminación atmosférica es aquella condición atmosférica en la cual existen sustancias en concentración suficientemente elevada sobre su nivel del mar o ajenas a la composición del aire, y que son causa de efectos indeseables para el ser humano, los animales, los vegetales o los materiales. Hay que destacar de esta definición que muchas sustancias sólo serán consideradas contaminantes cuando la elevación de su concentración puede ser nociva. Por ejemplo, el CO₂ componente habitual del aire que respiramos solo se considera contaminante a

partir de ciertas concentraciones en las que comienza a ser indeseable para su efectos ambientales.

La contaminación atmosférica se puede clasificar según dos criterios:

✓ Según la naturaleza de la materia contaminante:

- Química.
- Biótica

✓ Según la fuente de energía:

- Acústica.
- Radiaciones.

También es posible realizar la distinción entre contaminación biótica y abiótica.

✓ Contaminación biótica:

La contaminación biótica o biológica no suele ser tratada en los manuales de contaminación atmosférica, es evidente que tanto los microorganismos y los pólenes, así como ciertas sustancias de origen orgánico, pueden ser transportados por el viento y originar efectos nocivos sobre la salud humana, y pueden ser considerados como contaminantes atmosféricos.

✓ Contaminación abiótica:

Se distingue entre contaminación química y contaminación física.

La contaminación química, puede ser causada por partículas solidas y liquidas, gases y vapores.

La contaminación física, puede ser producida por fenómenos acústicos y radiaciones.

Contaminación atmosférica como sistema:

La contaminación atmosférica puede representarse como un sistema integrado por tres elementos:

-Emisores o fuentes de vertido de contaminantes.

-La atmosfera.

-Receptores.

Las emisiones están formadas por el conjunto de materias vertidas a la atmósfera. El origen de la contaminación atmosférica es la fuente de emisión. Los contaminantes emitidos al aire por las fuentes emisoras se diluyen, mezclan y transforman física y químicamente en la atmosfera, pasando a la fase de emisión.

Las inmisiones representan la concentración medida de contaminantes en la atmosfera. Las inmisiones determinan la calidad del aire, término que podemos considerar como sinónimo de nivel de inmisión.

Los productos contaminantes que constituyen estas inmisiones afectan a los receptores y pueden ser detectados con instrumentos de medida. Las inmisiones desencadenan alteraciones en los receptores como, una irritación respiratoria en el caso de los seres humanos o una necrosis de los tejidos de las plantas.

Una vez delimitados los componentes básicos del sistema de contaminación atmosférica, la siguiente etapa consiste en desarrollar un proceso de control que permita interactuar o modificar el sistema de la contaminación de la manera más eficaz posible.

Este proceso de control se puede efectuar sobre las fuentes de emisión, sobre la propia atmosfera y sobre los receptores.

A pesar de que es técnicamente factible el establecimiento de mecanismo de control de ciertas situaciones atmosféricas o la reducción del nivel de contaminantes que alcanzan a los receptores, ya sea filtrando o acondicionando el aire, en la práctica su efectividad es limitada o su coste es prohibitivo, por lo cual el control de la contaminación atmosférica se dirige primordialmente a la limitación de las emisiones.

Los mecanismos de control de las emisiones se encaminan a reducir el nivel de los contaminantes o de la alteración de su distribución espacial o temporal, por ejemplo mediante dispositivos de filtración de gases a la salida de una chimenea o procedimientos como la sustitución de un combustible por otro de menor capacidad contaminante.

Dado que la carga contaminante puede ser variable, dependiendo de las condiciones de emisión y de la situación atmosférica, hay que establecer un sistema que permita, en tiempo real, detectar las inmisiones atmosféricas, así como las condiciones atmosféricas que pueden predisponer a situaciones de riesgo contaminante. Esta función de vigilancia se lleva a cabo mediante sistemas de detección automatizados, integrados en una red de vigilancia de la contaminación atmosférica, que combina y relaciona la información de los sensores de contaminación y los datos meteorológicos, posibilitando la predicción a corto o medio plazo del estado de calidad del aire.

17

LOS ESTANDARES DE EMISIÓN E INMISIÓN:

Son denominados en la legislación española niveles de emisión e inmisión, representan los límites máximos tolerables de contaminantes para una determinada actividad (emisión) o presentes en la atmosfera (inmisión). Dado que el objetivo final de estos controles es evitar los efectos de la contaminación en los receptores, especialmente en los seres humanos, los primeros estándares que se deben determinar son los de emisión.

➤ Los estándares de emisión:

Los niveles máximos de emisión o calidad del aire se establecen basándose exclusivamente en el efecto detectado en los receptores. La relación entre la concentración atmosférica de muchos contaminantes y sus efectos para la salud o los ecosistemas son todavía desconocidos, por ello se definen varios niveles de inmisión.

En una primera categoría están los estándares primarios basados en los efectos contrastados de los contaminantes sobre la salud humana detectados en los estudios epidemiológicos y toxicológicos, en segundo lugar, están los estándares secundarios destinados a anticipar los efectos previsibles de los contaminantes sobre el medio ambiente y la salud, fundamentados por estudios teóricos y científicos realizados en ecosistemas, vegetación,...

Los niveles de inmisión están representados por el valor límite y el valor guía.

- Valor límite de emisión: representa la concentración de contaminante que permite la protección de la salud humana. Por encima de este valor, se sitúa el llamado valor de referencia para la declaración de la situación de emergencia, y que marca un deterioro evidente del medio ambiente con posibles graves consecuencias para la salud humana, dando lugar a la aplicación de acciones administrativas específicas.
- Valor guía de inmisión: indica la concentración máxima de contaminante como medida preventiva en materia de salud, protección del medio ambiente y objetividad de calidad deseable.

18

➤ Los estándares de emisión:

Estos son más complejos que los de inmisión. Los estándares de emisión se desarrollan en función de criterios técnico (capacidad tecnológica del momento) y económicos (viabilidad económica de un determinado proceso descontaminante).

Dada la naturaleza de los estándares de emisión, estos cambian con mucho más frecuencia que los de inmisión, debido a que las tecnologías descontaminantes avanzan con rapidez, a la par que se reduce constantemente su costo haciéndolas más asumibles; por otra parte los estudios epidemiológicos requieren común mente series temporales prolongadas, a veces décadas para llegar a resultados concluyentes.

COMPARACIÓN ENTRE ESTÁNDARES DE INMISIÓN Y EMISIÓN			
Estándar (nivel máx.)	Basado en	Objetivo	Ejemplo
INMISIÓN	Estudios epidemiológicos y ambientales.	• Asegurar la salud humana (estándar primario)	Valores límite
		• Mejorar la calidad ambiental (estándar secundario)	Valores guía
EMISIÓN	Criterios técnicos y económicos.	• Reducir las inmisiones	Normativas sobre gases de escape en automóviles

➤ ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA ATMOSFERA.

La atmosfera ha sido estudiada desde muchos puntos de vista y en ella han confluído estudios de geógrafos, meteorólogos, biólogos, físicos, matemáticos, químicos, astrónomos, ingenieros aeronáuticos, militares,...Todos ellos de algún modo, han creado una conciencia social sobre su importancia para la vida humana y para su supervivencia futura.

La atmosfera forma parte del ciclo de la vida, rodea al planeta Tierra, le protege de radiaciones y nos permite respirar. Viento, evaporación, humedad, nubosidad, precipitaciones, temperatura, presión o insolación con fenómenos o conceptos imposibles de entender sin enmarcarlos en la atmosfera. A esta lista tenemos que añadir también la contaminación.

1. Descripción y características básicas:

La atmosfera es la envoltura gaseosa que rodea a la Tierra. Se extiende aproximadamente hasta unos 1000 km por encima de la superficie terrestre. A efectos prácticos, se suele diferenciar una zona de baja atmosfera que abarca los primeros 50 km (hasta el límite superior de la estratósfera) y el resto o alta atmosfera. Tanto los fenómenos meteorológicos como la mayoría de los procesos relacionados con la contaminación atmosférica, se producen en la baja atmósfera.

LAS GRANDES DIVISIONES DE LA ATMÓSFERA

	CAPAS	LONGITUD
Baja atmósfera	• Troposfera	0 - 12 km aproximadamente
	• Estratosfera	12 - 50 km aproximadamente
Alta atmósfera	• Mesosfera	50 - 90 km aproximadamente
	• Termosfera	90 - 450 km aproximadamente
	• Exosfera	450 - 1 000 km aproximadamente

Mientras que el volumen atmosférico puede estimarse en una sexta parte de la Tierra, su masa es despreciable frente a la de nuestro planeta. La mayor parte de esta masa se sitúa en la baja atmósfera y especialmente en los primeros 5 km, donde se encuentra el 50% de ésta. Así mismo se estima que un 50% del agua atmosférica se concentra en los primeros 2 km.

La densidad y la presión atmosférica decrecen muy rápidamente con la altura, hasta el punto que, en el límite superior de la estratosfera se puede considerar una zona de práctico vacío.

La naturaleza comprensible de los gases determina que la atmósfera presente una estructura vertical de capas superpuestas de límites ni bien definidos. Las variaciones en la composición química de estas capas tiene una importante repercusión sobre la termodinámica de la atmosfera; la existencia de un gradiente de temperatura constituyen el llamado perfil térmico de la atmósfera.

Con la excepción de un reducido grupo de organismos que viven suspendidos en el aire, denominados por algunos autores Aero plancton, la mayoría de las formas de vida de este planeta se desarrolla en la cercanía de la superficie terrestre, en especial en la capa límite planetaria o zona comprendida en los primeros 500-800 m de atmosfera. Sin embargo toda la atmosfera en su conjunto es esencial para la vida por diferentes razones:

- Es un componente fundamental de los mecanismos de regulación térmica de la tierra.
- Ofrece protección frente a radiaciones solares y cósmicas.
- Es un medio de intercambio de materia y energía entre todos los compartimentos del ecosistema Tierra (biosfera, hidrosfera y litosfera).

2. Perfil térmico y estratos de la atmósfera.

La temperatura de la atmosfera varía en función de la altitud. La distribución de dicha variación o perfil térmico de la atmósfera es la base para la clasificación de los diferentes estratos atmosféricos.

21

- Características de la troposfera:

- Presenta una disminución regular de la temperatura con la altura.

- Es una capa sometida a fuertes perturbaciones. En ella se producen los fenómenos meteorológicos que determinan el clima terrestre. Debido a su contenido en agua, una de las consecuencias del descenso de la temperatura es que cualquier columna ascendente de aire experimenta un incremento de la humedad relativa dando origen a la formación de nubes.

- Presenta fuertes movimientos verticales de mezcla. Sus turbulencias aseguran la mezcla de sus componentes y una constancia relativa de composición y espesor.

- Representa la interfase entre la tierra y otras capas atmosféricas. Los procesos de intercambio son relativamente lentos (del orden de meses).

- Características de la estratosfera:

- Su temperatura es prácticamente constante en los primeros 10 km en latitudes medias, con un ligero incremento con la altura, alcanza un máximo en la estratopausa entre -10 y 0°C, (270K).

- Presenta corrientes horizontales de aire con poca mezcla vertical. Las diferencias estacionales de la temperatura, entre los polos y el ecuador, condicionan a que el sentido del viento cambie con las estaciones (viento del oeste en invierno y del este en verano).

- En la estratosfera se forma la mayor parte del ozono atmosférico con un nivel máximo hacia los 25 km (ozonoesfera). La absorción de la radiación ultravioleta solar por el ozono es la causa de la estructura térmica de la estratosfera.

-Bajo contenido en vapor de agua. No se desarrollan nubes y, por tanto, no hay precipitaciones.

- Características de la mesosfera.

-Presenta una temperatura cercana a los 0°C en su primer tramo, con disminución de la temperatura que llega hasta -80 a -100°C en la mesopausa.

-Disminución progresiva de la capa de ozono hasta su total desaparición. Es la ausencia justifica el descenso de la temperatura (menor absorción de radiación solar).

-Se inician los procesos de ionización en la cercanía de la mesopausa. A partir de este punto, y prolongándose a la termosfera, se extiende la llamada ionosfera.

- Características de la termosfera.

-Alto nivel de ionización.

-Niveles elevados de radiación solar.

-Elevadas temperaturas con oscilaciones a lo largo del día, de 500 K durante la noche hasta 1500 K durante la máxima irradiación diurna, es decir de 773°C a 1773°C.

-La composición química del aire de la atmosfera es muy diferente al de las capas anteriores. Tiene muy baja densidad molecular y hay presencia de oxígeno molecular y atómico y helio, así como hidrógeno en las capas más cercanas a la exosfera (zona donde las moléculas escapan a la acción de la gravedad terrestre).

- Características de la exosfera.

Su base se sitúa entre los 500 y 750 Km se extiende hasta los límites de la atmosfera entre los 1000-1500 Km, aproximadamente. En su límite más extremo se sitúa la llamada magnetosfera, compuesta por electrones y protones atrapados por el campo magnético terrestre.

3. Composición del aire troposférico.

La atmosfera de la Tierra, se formó hace aproximadamente 4500 millones de años. Esta primera atmosfera, se cree que estaba formada principalmente por dióxido de carbono (CO_2), nitrógeno (N_2), vapor de agua y cantidades traza de hidrógeno (H_2), mezcla similar a la de las emisiones volcánicas.

La atmosfera original era fuertemente reductora, en comparación con la actual de naturaleza oxidante.

El oxígeno comenzó a aparecer en la atmósfera hace unos 400 millones de años, como consecuencia de la actividad fotosintética de organismos primitivos (procariotas). Mediante el proceso de fotosíntesis fijaron el CO_2 (dióxido de carbono) y liberaron O_2 (oxígeno). El nivel actual de oxígeno se mantiene relativamente constante por el equilibrio entre fotosíntesis y procesos de respiración y descomposición del carbono orgánico. La mayor parte del vapor de la atmosfera primitiva se ha condensado para dar origen a los océanos. El N_2 , gas químicamente inerte e insoluble en el agua, se ha ido acumulando en la atmosfera a lo largo de las épocas para convertirse en la forma molecular más abundante de la atmósfera actual. Por su parte el CO_2 , tras disolverse en los océanos, se ha transformado en gran parte en los carbonatos, que se hallan presentes en las rocas sedimentarias.

Tal es la diferencia entre una atmosfera sin vida frente a la atmosfera actual de la Tierra, que algunos autores en especial James Lovelock, han postulado que no es necesario realizar grandes viajes interplanetarios para estudiar la existencia o no de vida en algún alejado planeta, bastaría con realizar un estudio espectroscópico de la composición de su atmósfera.

COMPOSICIÓN ATMOSFÉRICA DE MARTE, VENUS Y LA TIERRA

GAS (%)	MARTE	VENUS	ATMÓSFERA PRIMITIVA	ATMÓSFERA ACTUAL
Dióxido de carbono	95,0	96,5	98	0,03
Nitrógeno	2,7	3,5	1,9	78,1
Oxígeno	0,13	trazas	0	20,9
Temperatura superficial (°C)	-53	459	240 - 340	13

La composición química del aire es prácticamente constante en toda la homósfera con variaciones ligeras (hasta un 3% en función de su composición de vapor de agua). Además de los citados gases (CO_2 , N_2 , O_2 y vapor de agua), ya identificados por Lavoisier y Cavendish en el siglo XVIII, existen multitud de otros gases y elementos traza que con las tecnologías actuales pueden ser identificados en concentraciones de partes por trillón (ppt). Estos otros gases son: argón, metano, monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxido nítrico.

COMPOSICIÓN MEDIA DEL AIRE SECO LIMPIO

COMPONENTE	CONCENTRACIÓN % $\Leftrightarrow$ CONCENTRACIÓN ppmv
Nitrógeno (N_2)	78,1
Oxígeno (O_2)	20,9
Argón (Ar)	0,93
Dióxido de Carbono (CO_2)	0,032 320
Metano (CH_4)	0,0002 2
Monóxido de carbono (CO)	0,00001 0,1
Ozono (O_3)	0,000002 0,02
Dióxido de azufre (SO_2)	0,0000002 0,002
Dióxido de nitrógeno (NO_2)	0,0000001 0,001
Óxido nítrico (NO)	0,00000006 0,0006

La comparación de la atmósfera actual con el aire de la atmósfera antigua atrapada en burbujas en el interior de bloques de hielo, pone de manifiesto el incremento constante de algunos gases como el CO_2 , el metano (CH_4), el óxido nítrico (N_2O) y varios compuestos halogenados que presentan un importante **efecto invernadero**.

El CO₂, el vapor de agua, los aerosoles y algunos gases traza de la atmósfera, cuya concentración es variable, tienen una especial importancia como factores clave de la regulación del clima y la aparición de ciertos fenómenos meteorológicos. El comportamiento físico-químico de estas sustancias en la atmósfera es un aspecto relevante en los estudios sobre contaminación atmosférica.

La diferencia entre un aire limpio y otro contaminado puede consistir en variaciones mínimas de la concentración de sus componentes. Los estudios epidemiológicos y toxicológicos demuestran que en estas concentraciones se producen ya efectos negativos sobre la salud o el medio ambiente.

A estos contaminantes primarios hay que añadir algunos compuestos traza como los clorofluorocarbonados de reciente incorporación a la química atmosférica y todo un grupo de sustancias generadas secundariamente como consecuencia de las reacciones producidas en la atmósfera. Cabe destacar en este último grupo, la importante participación del ozono troposférico en la contaminación urbana fotoquímica, y los derivados del azufre en la formación de la lluvia ácida.

4. El ozono atmosférico.

El ozono es una forma alotrópica del oxígeno descubierta por el químico alemán Christian Friedrich Schönbein (1799-1868).

Se trata de una molécula triatómica relativamente inestable formada por tres átomos de oxígeno (O₃) y que aparece en forma de gas de color ligeramente azulado y olor peculiar. Su densidad es aproximadamente 2,5 veces la del oxígeno, y a -112°C se condensa formando un líquido de color azul. Es un poderoso agente oxidante, y en forma de gas concentrado o en estado líquido es altamente explosivo.

Se cree que la capa de ozono estratosférico comenzó a formarse hace 600 millones de años por acción de los rayos ultravioleta (UV) sobre el oxígeno moléculas (efecto Chapman). La concentración inicial cuando apareció la vida sobre la Tierra, se estima en un 10% de la actual, aunque suficientemente para aislar a los primeros organismos marinos de las letales radiaciones UV. La presencia de ozono en la atmósfera es un factor esencial para la existencia de vida en este planeta.

Desde principios de siglo han existido estudios que intentaban explicar la existencia de ozono en la estratosfera. En los últimos 25 años, sin embargo, un creciente conocimiento de los mecanismos de formación del O₃, contrasta con la patente reducción de sus niveles en la estratosfera, al mismo tiempo que, paradójicamente se observa como la concentración de ozono de superficie (troposférico) se incrementa, cuando en elevadas concentraciones, efectos manifiestamente nocivos sobre la salud humana. Esta curiosa dualidad del papel del ozono estratosférico como de buen ozono, frente al troposférico o mal ozono.

La mayor parte del ozono se concentra (90%) se concentra en la zona estratosférica conocida como ozonósfera. En esta zona desempeña el papel crítico de proteger a la tierra del exceso de radiaciones solares UV. En este último caso se estima que una reducción de un 1% de la capa de ozono significa un incremento de un 2% de las radiaciones UV-B que llegan a la superficie terrestre.

El nivel de ozono combinado (desde la superficie terrestre al límite superior atmosférico) se mide en **unidades Dobson** (UD). Una UD es el grosor, medio en centésimas de milímetros de una columna uniforme de ozono de presión y temperatura estándar.

Desde los años 70 se ha venido observando una reducción del nivel de ozono en latitudes norte entre el 30º N y los 60º N. Durante los años 90 se ha observado el mismo efecto en el hemisferio sur y en latitudes equivalentes (30º S y 60º S), al mismo tiempo que se ha detectado (Joseph Farman, 1985) un importante defecto de ozono en la Antártida (el agujero de ozono antártico), más manifiesto en los meses de septiembre y octubre.

En la actualidad se conocen bien los mecanismos implicados, tanto en la reducción de las capas de ozono, como los que generan el ozono troposférico causante de la niebla fotoquímica de las grandes ciudades.

➤ EL CLIMA Y LA CONTAMINACION ATMOSFERICA.

1. Escalas espacio-temporales de la contaminación.

Una vez emitidos, los contaminantes son transportados, dispersados o concentrados en función de las condiciones meteorológicas y topográficas. El ciclo de la contaminación se cierra cuando los contaminantes se depositan sobre la superficie terrestre o son reintroducidos en la atmósfera por la acción de las turbulencias y el viento.

Todos los fenómenos atmosféricos, incluida la contaminación, se manifiestan en varias escalas espaciales y temporales.

27

✓ Desde el punto de vista de la distribución espacial de los fenómenos atmosféricos, podemos distinguir tres escalas:

-Microescala. Son fenómenos que se producen en rangos de algunos centenares de metros. La dispersión de contaminantes a partir de una pluma de chimenea, sería un ejemplo de este grupo.

-Mesoescala. Comprende procesos locales y regionales que se desarrollan en escalas desde una decena hasta algunos centenares de Km. Ejemplos característicos de brisa marina y los vientos valla-montaña.

-Macroescala, desde unos cientos de miles de Km. Incluye fenómenos globales como la circulación general atmosférica. Los meteorólogos suelen referirse a esta escala como la escala sinóptica, la meteorología sinóptica entre otros aspectos, estudia los componentes meteorológicos que caracterizan la distribución de los diferentes climas de la Tierra.

✓ Desde un punto de vista temporal, se pueden establecer así mismo, tres categorías relacionadas con el tiempo de evolución de un proceso atmosférico:

-Corta duración (minutos).

-Duración media (desde un día a un año).

-larga duración (varios años).

2. El sistema climático.

Desde un punto de vista sistemático la Tierra es un sistema abierto en estado de equilibrio dinámico con complejos flujos de energía y de materia. En este sistema podemos distinguir cinco componentes básicos: atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y biosfera.

- ✓ **La atmósfera** es el componente central del sistema climático. Se caracteriza por una mayor inestabilidad que los otros componentes y por ser esencial en la regulación del equilibrio energético, ya que controla la radiación que llega a la superficie terrestre y representa el principal medio de transferencia de calor entre todos los componentes del sistema.
- ✓ **La hidrosfera** está formada por el conjunto de partes líquidas de la Tierra: océanos, mares, ríos, etc....
Además de su importancia como reserva de agua, la hidrosfera tiene una notable repercusión sobre el balance energético de la Tierra. La gran superficie de los océanos, comparada con la de los continentes, determina una mayor absorción de radiación solar en el agua que en el suelo.
Las características calóricas del agua, que le permite una absorción y liberación lenta del calor, así como la existencia de gradientes térmicos en los océanos, son un factor determinante de su capacidad de termorregulación caracterizada por una gran inercia térmica, como se comprueba al observar las pequeñas variaciones de su temperatura a lo largo del año.
La hidrosfera además de intervenir en funciones termorreguladoras y de reserva calórica, participa en la regulación de la circulación general atmosférica por la acción de las corrientes marinas, que transportan calor desde las regiones ecuatoriales a las más frías. Dichas corrientes están en parte determinadas por los vientos constantes de superficie, al mismo tiempo que los gradientes de calor en la Tierra se relacionan con la presión atmosférica y los regímenes del viento.
- ✓ **La criosfera** es un subsistema de la hidrosfera. Está integrada por las masas de hielo y los depósitos de nieve. Su superficie ocupa entre un 3 y un 5 % de la superficie terrestre. Se distinguen en ella cinco componentes básicos, que

son: casquetes de hielo, permafrost, glaciares, hielo marino y cubierta de nieve.

Entre las características más destacables de la criosfera en relación con el sistema climático hay que destacar su muy importante contribución al **albedo** terrestre (fracción de la radiación incidente que es reflejada por la superficie de la Tierra), que en caso de la nieve llega hasta cifras superiores al 90%. Otros aspectos destacables son su baja conductividad térmica, lo que le confiere un efecto de aislante térmico y su contribución al ciclo hidrológico, especialmente por las variaciones de las superficies nevadas.

- ✓ **La litosfera.** Participa en todos los procesos de transferencia de materia a través de los ciclos biogeoquímicos y es un componente esencial del equilibrio energético del sistema. La heterogeneidad de su superficie, debida a los diferentes tipos de suelo y a la vegetación, afecta al balance de energía, al intercambio de calor y a la humedad ambiente, factores determinantes del clima. En comparación con la hidrosfera, la transmisión de calor en profundidad y su capacidad calórica es muy limitada, existiendo una gran variabilidad en la temperatura superficial, con un rápido intercambio calórico con la capa límite planetaria de la atmósfera.
- ✓ **La biosfera.** Igualmente participa de modo activo en el sistema climático por su relación con el balance del CO₂ y otros componentes atmosféricos.

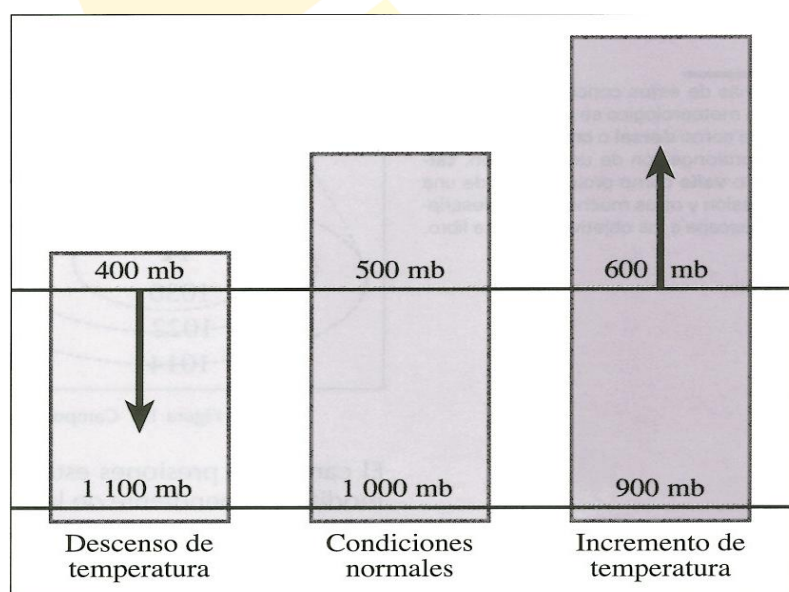
Podemos concluir que los procesos de transferencia energética son el eje central del sistema climático. La atmósfera es un elemento esencial para la autorregulación del sistema dada su rápida adaptación a los cambios del estado, merced a la transferencia de calor a través el movimiento del aire. Los gradientes térmicos de la atmósfera determinan las diferencias de presión y, por extensión, los regímenes de vientos. El vapor de agua y ciertos gases traza de la atmósfera son, así mismo factores de influencia sobre el clima de la Tierra al modificar su balance radiante.

1) Presión y viento.

La presión atmosférica es el resultado del peso ejercido por una columna de aire sobre la superficie terrestre.

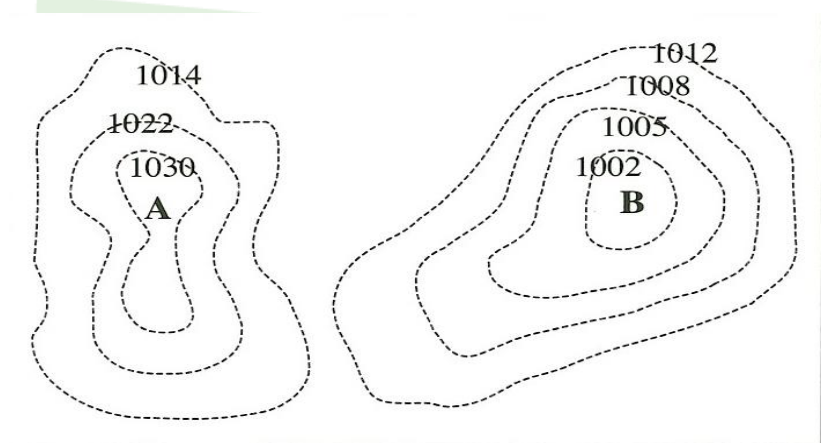
Ya que la presión atmosférica depende de la fuerza ejercida por una columna de aire sobre la superficie, es lógico deducir que a medida que aumenta la altura, la presión se reduce. Sin embargo, la disminución de la presión no es lineal, debido a que las capas inferiores tienden a comprimirse por el peso del aire situado por encima de ellas. En una atmosfera ideal, con condiciones de temperatura y densidad uniformes con relación a la altura, la presión desciende muy rápidamente en las capas bajas de la atmosfera, existiendo un gradiente cada vez más suave a medida que aumenta la altura. En condiciones reales, la situación anterior se modifica dependiendo de las variaciones locales de la temperatura del aire y de la densidad del mismo.

Una columna de aire que sufra un enfriamiento a presión constante experimenta un incremento de densidad, o lo que es lo mismo disminuye el volumen. En las mismas circunstancias, el calentamiento de la columna produciría una expansión de la misma. Como consecuencia de lo anterior, el gradiente de presión en la columna fría será más brusco que en la caliente. Las relaciones “aire caliente-baja densidad” y “aire frío- alta densidad” sólo se mantienen a igualdad de presiones, y por tanto sólo es aplicable de manera comparativa cuando se hace referencia a niveles de igual altura. De hecho aunque pueda parecer paradójico, una columna de aire frío genera en altura una zona de baja presión, mientras que la columna caliente provoca altas presiones.



La representación de las presiones a nivel del mar se realiza mediante las **líneas isobaras** (líneas que unen puntos de igual presión). La distribución de las isobaras de una zona se conoce bajo el nombre de **mapa de superficie**. En altura, las líneas isobaras se distribuyen a diferentes altitudes, por ello los mapas de presión en altura se realizan trazando líneas que unen puntos de igual altitud con una determinada presión. Dichas líneas, denominadas **líneas isohipsas** se miden en metros, a diferencia de las isobaras que se indican en milibares. También es frecuente la representación de las temperaturas en los mapas de altura mediante el uso de las **líneas isotermas**, que unen puntos de igual temperatura.

Existen dos configuraciones características de los mapas de superficie, los anticiclones y las borrascas.



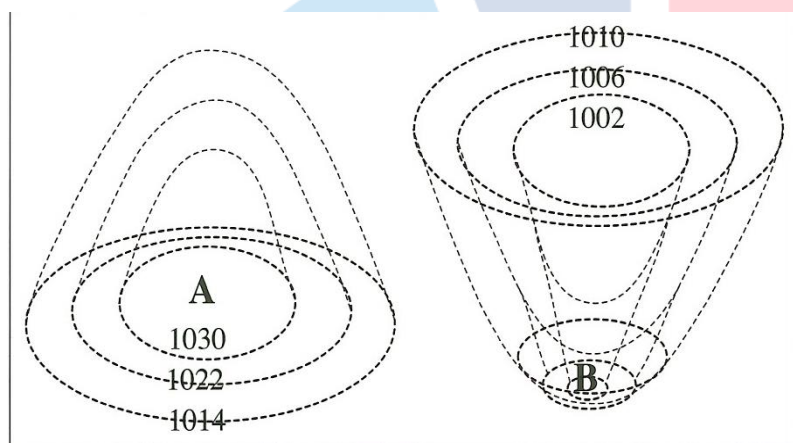
Ejemplo de mapa de superficie.

1. Anticiclones o zonas de presión marcados como A en los mapas.
2. Borrascas, depresiones o ciclones. Son zonas de baja presión, marcadas como B.

Los anticiclones y borrascas tienen un diámetro que oscila entre unos cientos de km a 4000 km. Los anticiclones se asocian generalmente a tiempo seco, mientras que

las borrascas suelen ir acompañadas de precipitación; es por ello que la presencia de un anticiclón es considerada a nivel popular como signo de buen tiempo.

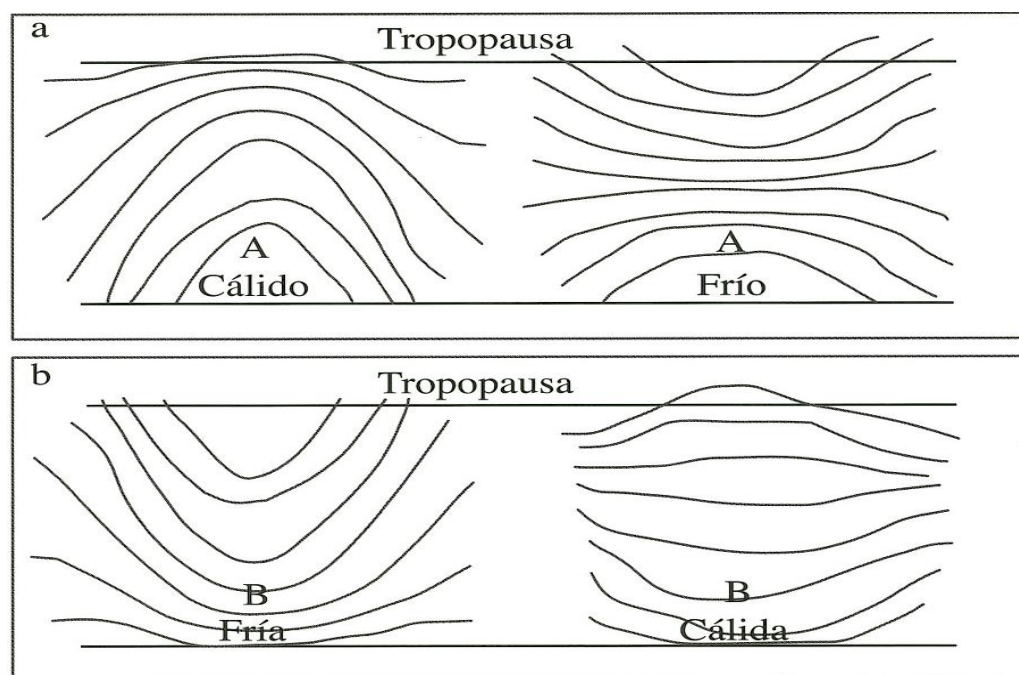
El estudio conjunto de las variaciones verticales y horizontales de presión nos permite conocer el **campo de presiones** de la atmósfera. Sobre un anticiclón las superficies isobaras describen una campana invertida o embudo.



Campos e presión de anticlones y borrascas.

El campo de presiones está influido por la temperatura del aire, que modifica la pendiente de las isobaras. En un anticiclón cálido el gradiente de presión y el de temperatura siguen la misma dirección, existiendo un mayor apuntamiento de la campana en el caso de que el núcleo sea frío, la consecuencia de esto es que los anticlones cálidos se prolongan hasta la tropopausa, mientras que en los fríos las isobaras se van aplanando hasta un punto donde se produce la inversión de su curvatura, de forma que sobre un anticiclón frío existe en altura una zona de depresión.

En el caso de las depresiones, se produce un fenómeno similar, las depresiones frías se proyectan en altura hasta la tropopausa mientras que en las cálidas se produce un anticiclón en la vertical de la depresión.



Formas de presentación cálida y fría de anticiclones (a) y borrascas (b).

Es por ello que, tanto los anticiclones fríos como las depresiones cálidas son considerados campos de presión débiles, ya que sólo afectan a una pequeña porción de la troposfera.

Como es obvio, la diferencia de la presión entre las isobaras curvas de un anticiclón o una depresión va a originar una circulación del aire, cuya dirección e intensidad obedece a leyes físicas. En términos generales, se puede afirmar que la circulación del viento, tanto a escala sinóptica como a nivel de meso o microescala depende de tres fuerzas componentes:

1. La fuerza derivada de la existencia de gradientes barométricos (de presión).
2. La debida al giro de la Tierra o **fuerza de Coriolis**.
3. El rozamiento de la superficie terrestre. Este último sólo tiene influencia sobre la circulación del viento en la capa límite planetaria.

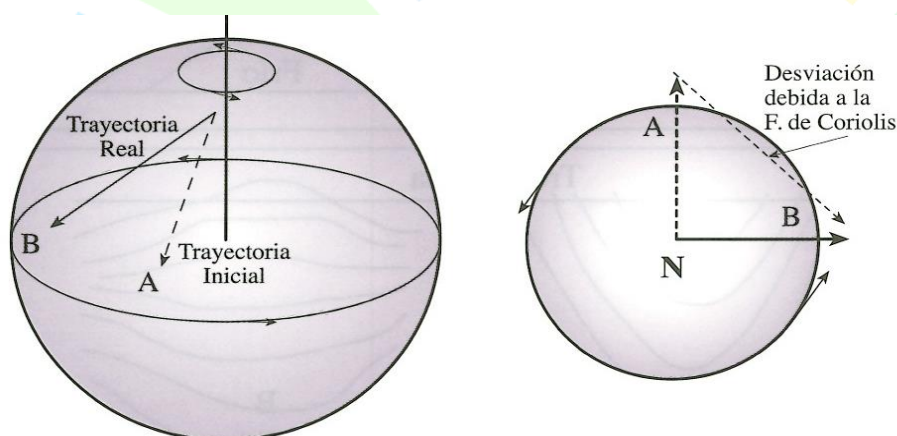
El gradiente barométrico actúa obligando al aire a desplazarse desde zonas de mayor presión a otras de menor presión. A escala global, dicho gradiente se establece a nivel de superficie entre los polos (aire frío, denso y mayor presión

atmosférica) y el ecuador (aire caliente y menor presión), existiendo una corriente en sentido contrario en las capas altas.

En ausencia de otras fuerzas, el viento avanzaría en línea recta perpendicularmente a las isobaras, que en este caso serían rectilíneas.

Sin embargo, el giro de la Tierra provoca una desviación oblicua de la dirección del viento. Dicha fuerza, descubierta por el matemático francés **Coriolis** en el siglo XIX, actúa en el hemisferio norte desviando hacia la derecha de su trayectoria a cualquier fluido (aire) que intente desplazarse por él, y en sentido inverso en el caso del hemisferio sur.

34

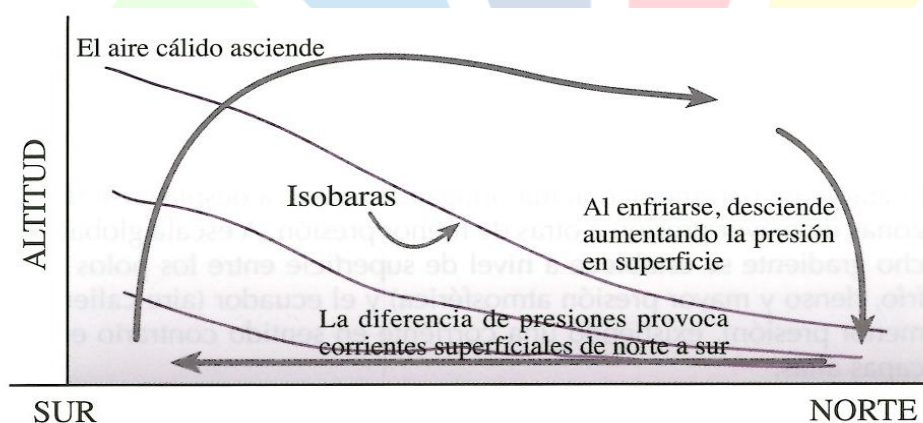


Fuerza de Coriolis. A la derecha vista desde el polo norte.

Por encima de la placa limite planetaria, los gradientes de presión dominantes son horizontales. Sin la existencia de fuerzas de rozamiento las isobaras serían rectilíneas y paralelas. El viento generado en estas condiciones es el denominado **viento geostrófico**, dependiente de los gradientes térmicos generados por los patrones de irradiación solar y la fuerza de Coriolis. Como antes se comentó, el viento ecuatorial cálido asciende y se dirige hacia los polos, mientras que en superficie el sentido es contrario. Esta circulación se ve interrumpida por el enfriamiento por radiación del aire ascendente cuando se alcanza los 30° de latitud (N y S) creándose una célula térmica (ver figura) conocida como **célula de Hadley**. La

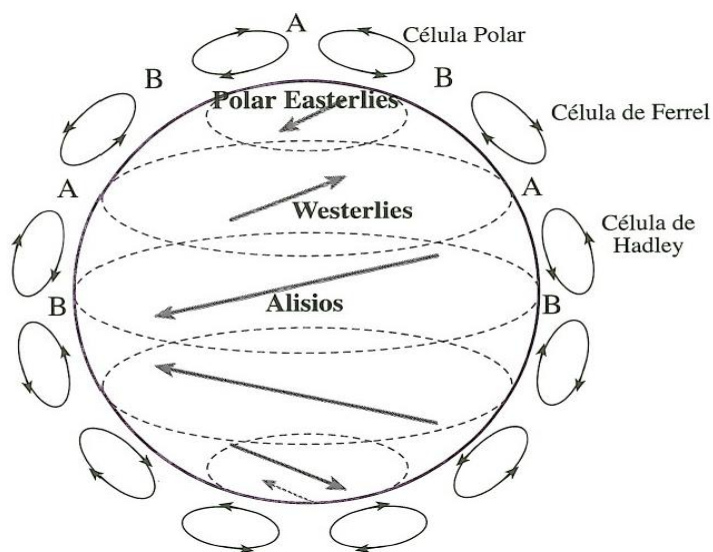
acción de la fuerza de Coriolis sobre esta célula origina los **vientos alisios**, que avanzan de este a oeste.

35



Mecanismo de formación de una célula térmica.

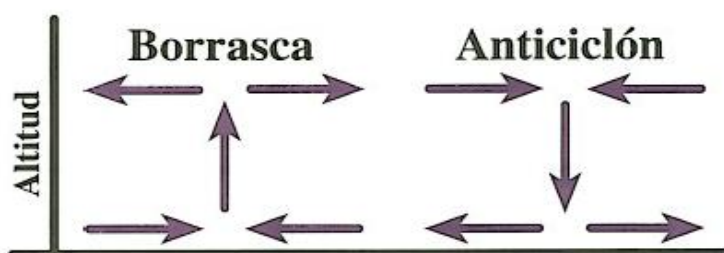
En los polos se crean **células polares**, donde aparecen también vientos del este (polar easterlies). Entre ambas celdas se produce una zona de turbulencias (**células de Ferrel**) en la que predominan los vientos del oeste (westerlies). Entre las tres células (Hadley, polar y Ferrel) aparecen zonas de alta y baja presión en función de la convergencia o divergencia de las corrientes de aire.



La circulación global atmosférica.

Las borrascas suelen formarse por convergencia de corrientes de aire a nivel de superficie, lo cual provoca el ascenso de la masa de aire. El posterior enfriamiento de ésta al ascender, conduce a la condensación del vapor de agua y a su posterior precipitación, es por ello, que las borrascas se caracterizan por tiempo lluvioso.

En los anticiclones el mecanismo es inverso. La divergencia de corrientes de superficie crea una presión negativa que obliga al descenso de la masa de aire que aumenta su temperatura, de aquí, el tiempo seco característico de esta situación.



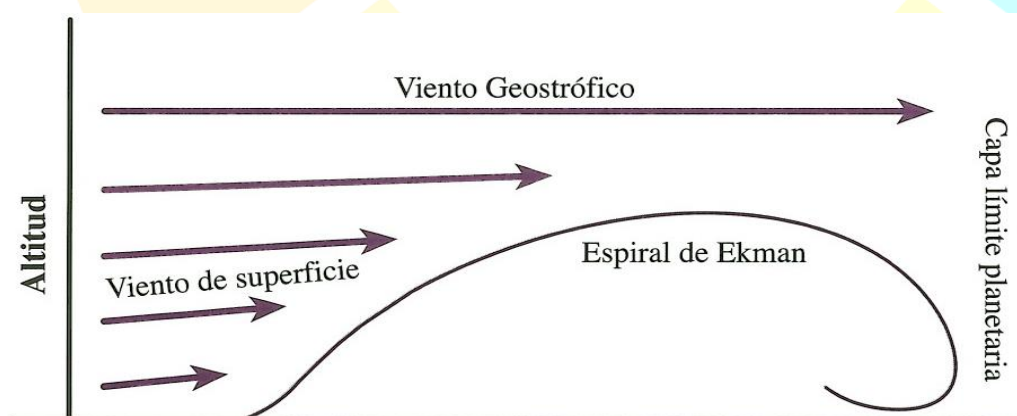
Desplazamientos verticales del aire en borrascas y anticiclones.

Combinación de los mecanismos de giro y desplazamiento vertical crea un movimiento en espiral del aire, ascendente en las borrascas y descendente en los

anticiclones. Este hecho tiene una especial importancia cuando consideramos la dispersión de los contaminantes atmosféricos, dado que los anticiclones tendrán un efecto negativo al impulsar los contaminantes sobre la superficie.

La circulación global atmosférica es responsable de la existencia de zonas anticiclónicas semipermeables en las zonas oceánicas de las regiones subtropicales (por ejemplo, el conocido anticiclón de las Azores, o el anticiclón del Pacífico Norte). Una característica de estos anticiclones es que el aire frío que origina la alta presión en la superficie del océano, al ascender se comprime elevándose su temperatura formándose de esta manera una capa de aire caliente por encima del frío. Dicho fenómeno, conocido como **inversión térmica**, tiene, un efecto de estabilidad atmosférica que limita la dispersión de los contaminantes.

Un último tipo de vientos son los **vientos de superficie** en los cuales la fuerza de rozamiento (accidentes topográficos) y las oscilaciones térmicas locales son los factores determinantes. Estos vientos suelen ser de carácter local o regional, más débiles que los anteriormente considerados y oblicuos a las isobaras. Dicha oblicuidad se debe al mayor rozamiento que experimenta las capas de aire más próximas a la superficie, apareciendo un efecto conocido como **espiral de Ekman**.



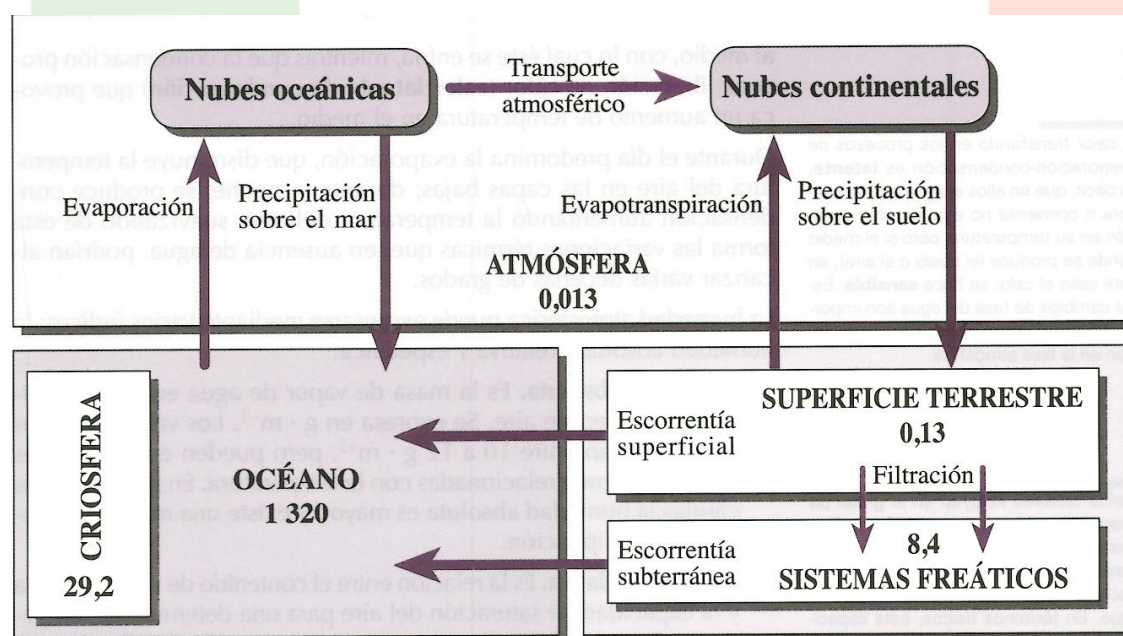
Vientos de superficie y espiral de Ekman.

4. Humedad y precipitación.

La humedad atmosférica es otro factor climático importante. La condensación del vapor de agua de la atmosfera provoca la formación de nubes. El crecimiento y agregación de los núcleos de condensación es el origen de las diversas formas de precipitación.

La circulación del agua entre los compartimentos del sistema terrestre se realiza a través del **ciclo hidrológico**.

38



Ciclo hidrológico. Las cantidades indican el volumen de cada compartimiento expresado en 10 elevado a 15 litros. (10^{15}).

El ciclo hidrológico está controlado por la energía solar y la gravedad. La parte ascendente del ciclo está determinada por la evapotranspiración, mientras que la descendente depende de la condensación y posterior precipitación. El agua de lluvia incrementa los depósitos marinos, o bien cae sobre las masas terrestres donde se produce una filtración hacia capas freáticas, se absorbe por las plantas o forma escorrentías que conducen el agua hacia el océano.

El equilibrio de este sistema depende del balance evaporación-condensación, que en condiciones normales debe ser nulo a nivel global. En ambos procesos existen transferencia de calor al medio: la evaporación requiere calor (**calor latente de evaporación**) que es robado al medio con lo cual este se enfría, mientras que la condensación provoca liberación de calor (**calor latente de condensación**) que provoca un aumento de temperatura en el medio.

Durante el día predomina la evaporación, que disminuye la temperatura del aire en las capas bajas; durante la noche, se produce condensación aumentando la temperatura del aire, suavizando de esta forma las variaciones térmicas que, en ausencia de agua, podrían alcanzar varias decenas de grados.

La humedad atmosférica puede expresarse mediante varios índices: la humedad absoluta, relativa y específica.

- 1) **Humedad absoluta.** Es la masa de vapor de agua en un determinado volumen de aires, se expresa en g.m^{-3} . Los valores medios se encuentran entre 10 a 12 g.m^{-3} , pero puede existir grandes variaciones muy relacionadas con la temperatura. En las zonas más cálidas la humedad absoluta es mayor, y existe una mayor tendencia a la precipitación.
- 2) **Humedad relativa.** Es la relación entre el contenido de vapor de agua y la capacidad de saturación del aire para una determinada temperatura. Expresado de otra forma, es la proporción entre la masa de agua en el aire y la que éste admitiría como máximo. Se expresa en tanto por ciento. Cuando se utiliza genéricamente el término humedad sin ningún otro calificativo, se hace referencia a la humedad relativa. Debido a que el grado de saturación del aire varía con la temperatura, no siempre existe una correlación entre humedad relativa y el grado de evaporación. Existe una relación inversa entre temperatura y humedad relativa, al disminuir la temperatura la humedad

relativa aumenta y viceversa. Una humedad relativa elevada cercana a la saturación (100%) provoca condensación de agua con el descenso de la temperatura (ejemplo, formación del rocío).

- 3) **Humedad específica.** Es la masa de vapor de agua contenida en un kilogramo de aire. Es un índice de humedad que caracteriza a una masa de aire a pesar de que varíe su volumen o temperatura, dado que la proporción entre vapor de agua y masa total de aire se mantiene constante.

40

La condensación de vapor de agua atmosférico se produce cuando una masa de aire se enfría por debajo de su **punto de rocío** (temperatura a la cual la humedad relativa es de 100% para una determinada presión atmosférica). La reducción de la temperatura es debida a varios procesos que se pueden agrupar en dos: el enfriamiento isobárico y el enfriamiento adiabático.

- 1) **Enfriamiento isobárico** es el que se produce a presión constante por la mezcla de masas de aire húmedo a diferentes temperaturas o el contacto de una corriente de aire húmedo con la superficie fría.
- 2) **El enfriamiento adiabático** es debido a la expansión producida en una masa de aire que asciende en condiciones adiabáticas (sin intercambio calórico con el medio que la rodea). Los procesos adiabáticos de expansión y compresión son factores determinantes de las condiciones de estabilidad de la atmosfera.

La condensación es el origen de la formación de las nubes y de todas las formas de precipitación.

De todas las formas de condensación, son las nubes las que presentan una mayor importancia tanto para el sistema climático, como para los fenómenos de contaminación atmosférica. Los aspectos más destacables son:

- Las nubes son un factor esencial en el balance térmico de la Tierra, reflejan parte de la radiación solar y atrapan energía de onda larga procedente de la superficie.

- Participan en el balance hídrico redistribuyendo al agua sobre la superficie terrestre.
- Atrapan materia gaseosa y partículas que retornan al suelo (deposición humedad).
- Son el medio donde se producen las reacciones químicas atmosféricas en fase acuosa y gran parte de los contaminantes secundarios.
- Afectan significativamente al transporte vertical de sustancias en la atmósfera.

41

Las nubes se clasifican atendiendo a su distribución en altura y su forma. Con relación a **la altura** existen tres categorías básicas:

- **Nubes altas**, que se localizan entre los 5 y los 13 Km de altitud.
- **Nubes medias**, entre 2 y 7 Km.
- **Nubes bajas**, cuya base se encuentra por debajo de los 2 Km; algunos autores diferencian dentro de este grupo a las **nubes de desarrollo vertical**, nubes que alcanzan en altura hasta 7 Km.

Considerando **su forma**, se diferencia tres tipos.

- **Cirros**, nubes blandas de aspecto filamentosos o plumosos. Son nubes delgadas y translúcidas de hielo.
- **Estratos**, capas nubosas continuas que ocupan una gran extensión.
- **Cúmulos**, nubes de base aplanada y de aspecto algodonoso o de coliflor. Además de estos términos se utilizan también los prefijos **altos** para nubes de altura media, y **nimbos** para nubes que suelen producir precipitación. De la combinación de estos términos surgen los 10 géneros básicos de nubes de la clasificación internacional propugnada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

▪ **Clasificación internacional de OMM.**

-Nubes altas:(cirros, cirrocúmulos, cirroestratos).

-Nubes medias: (altocúmulos, altoestratos, nimboestratos).

-Nubes bajas y de desarrollo vertical: (estratos, estratocúmulos, cúmulos, cumulonimbos).

Las nubes altas de tipo cirros actúan de manera similar al aire, es decir, que son prácticamente transparentes a la radiación de onda corta (su albedo es muy pequeño), pero sin embargo, su capacidad de absorción de onda larga es grande. Ya que estas nubes son altas y frías, la energía radiada al espacio es pequeña y por tanto su efecto invernadero es alto. El efecto final es que las nubes altas incrementan la temperatura de la superficie terrestre.

Las nubes bajas como los estratocúmulos, por el contrario, actúan disminuyendo la temperatura. Debido a su mayor espesor, las nubes bajas son poco transparentes a la radiación solar, por lo que su efecto albedo es elevado. Aunque las nubes bajas también emiten radiación de onda larga hacia el espacio y la superficie terrestre, su efecto invernadero es pequeño debido a que al estar situadas a baja altura su temperatura es muy similar a la de la superficie.

Las nubes de media altura y las nubes de desarrollo vertical, en especial los cumulonimbos, son ambivalentes: por una parte, la parte superior a la nube que esta fría tiene muy poca emisión de radiaciones. Pero como la nube tiene un gran grosor su transmitancia es baja y su albedo elevado. El balance entre su efecto invernadero y su albedo elevado es neutro, no hay ni enfriamiento ni calentamiento.

Las nubes se mantienen en la atmosfera por la acción de las corrientes ascendentes de aire. Par que el vapor de agua pueda precipitar es necesario que la gota de agua alcance el tamaño suficiente para evitar la evaporación en un ambiente sobresaturado a medida que desciende. La formación de estas gotas se produce a expensas de dos mecanismos básicos: la coalescencia y la congelación.

1. **Coalescencia** (fusión) de las gotas por colisión entre ellas a medida que descienden. Este mecanismo es básico en ambientes templados donde la temperatura de la nube es superior al punto de congelación. Las gotas de lluvia arrastran en su caída a partículas, que a su vez actúan como nuevos núcleos de condensación del vapor de agua.

2. **Congelación** en nubes con temperaturas por debajo de -40°C , o a temperaturas inferiores a 0°C cuando existen determinadas partículas en suspensión (m particularmente silicatos) que ejercen como **núcleos de hielo** permitiendo la formación de pequeños cristales helados.

De todas las formas de precipitación la lluvia es la más importante, por lo que habitualmente ambos términos, precipitación y lluvia, se confunden. El régimen de precipitaciones a escala global depende de la dinámica de la circulación general atmosférica y de la latitud. Las variaciones pluviométricas pueden ser importantes de un mes a otro, o entre una determinada estación y el resto del año, sin embargo, suele existir una constancia de la pluviometría media registrada a lo largo de los años en una cierta zona geográfica.

En condiciones normales la lluvia presenta un pH ligeramente ácido, entre 5 y 6.

Un efecto particularmente nocivo es la deposición de sustancias ácidas con la lluvia. El fenómeno de lluvia ácida es característico de la emisión de la atmosfera de óxidos de azufre y de nitrógeno como consecuencia de la combustión de productos fósiles. La lluvia ácida se caracteriza por un pH inferior a 5, alcanzando en situaciones extremas valores de pH inferiores a 3. Dado que la escala de pH es logarítmica, esto implica que la concentración de hidrogeniones es ciento de veces superior a lo normal.

5. Estabilidad atmosférica.

La estabilidad atmosférica es una condición de la atmósfera relacionada con los movimientos verticales del aire. Cuando una parcela de aire se desplaza verticalmente en equilibrio con el medio, sin verse afectada por fuerzas que la obligan a descender o ascender, se dice que la atmósfera está en situación de **estabilidad neutra**. Si existen fuerzas que incrementan el movimiento vertical de esa masa de aire, se dice que la situación es **inestable**, y por el contrario, si dichas fuerzas se oponen al movimiento vertical se dice que la atmosfera es **estable**.

El desplazamiento vertical de una parcela de aire se acompaña de variaciones de volumen en función de la temperatura de la atmósfera. Dado que en la troposfera existe un descenso de ésta con la altura, una parcela ascendente experimentará una expansión que se acompaña del enfriamiento de esa masa de aire. En una situación ideal, no existe intercambio de calor entre la masa de aire y la atmósfera que la rodea, sin embargo aunque la temperatura de la parcela y la atmósfera puedan ser diferentes, su presión será la misma.

Así pues, la clave de este proceso es la variación de temperatura que se produce en la atmósfera con relación a la altura. La proporción con la que varía la temperatura con una masa de aire que se eleva o desciende recibe la denominación de **gradiente adiabático** o **tasa de cambio adiabática**. Se pueden definir dos tasas de cambio adiabático, una aplicable al aire seco o **tasa de cambio adiabática seca**, y la **tasa de cambio adiabática húmeda**.

Desde el punto de vista de la contaminación, es obvio que las situaciones de estabilidad son indeseables ya que disminuyen la dispersión de contaminantes. Una circunstancia meteorológica particularmente importante que conduce a la situación de estabilidad atmosférica, es el fenómeno conocido como **inversión térmica**. Una inversión térmica se caracteriza por la existencia de una zona más caliente de aire que la que se sitúa por debajo de ella, en contra del gradiente térmico habitual de la troposfera, en la que las zonas más altas tienen una menor temperatura. Las circunstancias que generan inversiones son diversas, aunque en todos los casos el proceso se debe al enfriamiento desde abajo, o al calentamiento desde arriba de una masa de aire. Las inversiones térmicas más típicas son la inversión por radiación, por subsistencia, frontal y advectiva.

- **Inversión por radiación**, se produce de forma característica durante la noche, cuando el suelo comienza a irradiar el calor acumulado durante el día. El suelo y las capas atmosféricas vecinas se enfrían originando una situación subadiabática. Al amanecer la inversión desaparece por calentamiento del suelo. A lo largo del día la situación puede convertirse en superadiabática originando por convección nubes de desarrollo vertical, que pueden provocar precipitaciones vespertinas. Este fenómeno es frecuente en los climas tropicales húmedos y durante el verano en zonas templadas.

- **Inversión por subsistencia**, se originan en situaciones anticiclónicas cuando una masa de aire que experimenta un movimiento horizontal atraviesa el anticiclón, que es sometido a una fuerte compresión y consiguiente elevación de la temperatura. Este tipo de inversiones son particularmente peligrosas porque afectan a zonas amplias y se mantienen durante largos períodos de tiempo, en especial cuando dependen de zonas anticiclónicas semipermanentes, que ya fueron comentadas al hablar de los campos de presión atmosféricos.
- **Inversión frontal**, es la provocada en la interfase de dos masas de aire de diferentes temperaturas, humedad y presión. Tanto en los frentes de aire frío como en los calientes, el aire de mayor temperatura se dispone sobre el aire más frío originando la inversión.
- **Inversión advectiva**, aparece cuando una corriente de aire caliente se desplaza sobre una superficie fría o una capa de aire más frío. Un ejemplo de este tipo de inversión es la producida cuando una brisa fría marina es sobrepasada en altura por una brisa caliente continental.



MÓDULO III: LA CONTAMINACION POR FUENTES MATERIALES.

Este bloque temático está dedicado al estudio de la contaminación atmosférica en función de las formas de la materia o **fuentes materiales** que la originan, así como a los procesos relacionados con ellas.

Es común aceptado que la contaminación del aire puede llegar a constituir un grave problema ambiental y ser el origen potencial de alteraciones en todos los seres vivos y en el equilibrio de los ecosistemas que alberga nuestro planeta.

Aunque no todos los procesos contaminantes son atribuibles al ser humano, ya que existen fuentes de origen natural que emiten mayor cantidad de partículas y gases de combustión, sí es cierto que las emisiones esporádicas provocadas por las actividades urbanas, industriales, agropecuarias y el transporte constituyen de forma decisiva a la alteración del equilibrio atmosférico, por cuanto superan la capacidad autodepurativa del sistema.

Habitualmente los contaminantes atmosféricos se clasifican en primarios y en secundarios. Se consideran primarios cuando permanecen en la atmosfera tal y como fueron emitidos por la fuente (óxido de azufre, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, hidrocarburos, etc...). Son secundarios cuando constituyen el resultado de la reacción de los contaminantes primarios entre sí o con otros componentes naturales de la atmósfera, como los oxidantes fotoquímicos o el ozono troposférico.

Igualmente se incluyen en este bloque la contaminación biológica que, aunque singular y de menor importancia en los ambientes exteriores, puede determinar la calidad del aire en los ambientes internos, dado que el aire contiene microorganismos y los seres vivos, en este caso los humanos, son bioefluentes, es decir emiten sustancias como consecuencia de su actividad biológica (consumo de tabaco, productos cosméticos, etc...).

❖ **CONTAMINANTES PRIMARIOS. FUENTES DE CONTAMINACION.**

Vamos a ver el estudio de los contaminantes según sus fuentes y en particular el de los contaminantes primarios, es decir, aquellos que proceden directamente de la fuente de emisión se vierten en la atmósfera.

48

I. **Clasificación básica de los contaminantes atmosféricos.**

Se pueden establecer los siguientes grupos básicos de contaminantes atmosféricos basándonos en la naturaleza física y composición química:

- ✓ Materia particulada (aerosoles).
- ✓ Compuestos de azufre.
- ✓ Compuestos de nitrógeno.
- ✓ Compuestos de carbono.
- ✓ Compuestos halogenados.
- ✓ Otros.

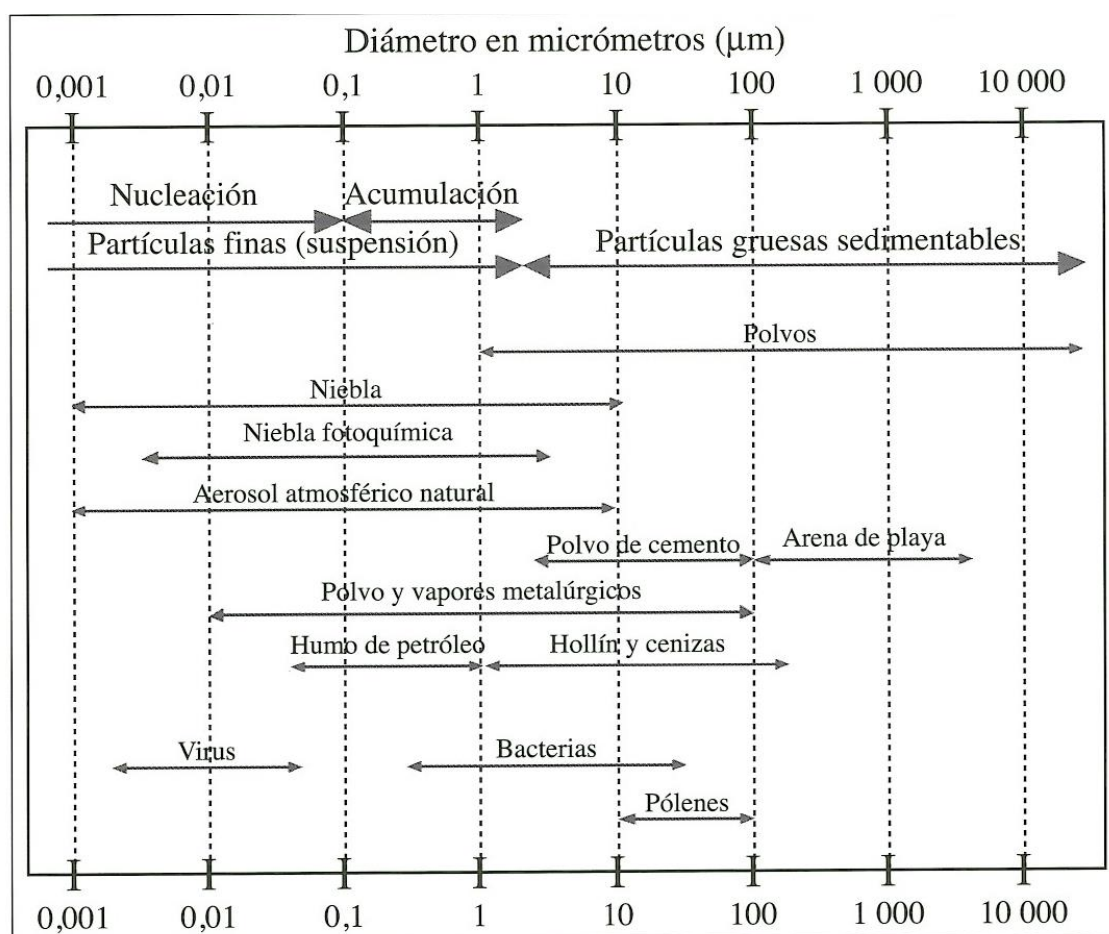
Materia particulada (aerosoles).

Un aerosol es una suspensión de diminutas partículas sólidas o líquidas de un gas. Debido a su distinto origen, naturaleza y forma de presentación, existen numerosos términos que sirven para describir los diversos tipos de aerosoles, algunos de ellos son:

- **Polvo.** Es una suspensión de partículas sólidas producidas por desintegración mecánica de un material, ya sea por trituración, explosión, ...
- **Niebla.** Es un término genérico aplicado a los aerosoles visibles en estado líquido. Suele referirse a dispersión de vapor de agua próxima al suelo (en este caso es más habitual el término de *neblina*).
- **Bruma.** Es un aerosol que impide la visión y que puede consistir en una combinación de vapor de agua, polvo y contaminantes diversos. Las brumas aparecen, por ejemplo, en el ambiente urbano debido al fenómeno de la isla calórica (isla urbana de calor).
- **Humo.** En castellano se aplica a dos conceptos diferentes: en su acepción más habitual, se refiere al humo de combustión o *humo negro*, caracterizado por la presencia de partículas de carbón y otros productos de la combustión incompleta, otra acepción menos común es la que designa el aerosol formado por condensación, reacción química o sublimación e integrado por partículas de menor tamaño que el humo de combustión (ciertos vapores industriales, o el humo del tabaco serían ejemplo de este segundo tipo). Un humo negro muy espeso con gran número de partículas carbonosas es corrientemente denominado *hollín*.
- **Smog.** Es un anglicismo de uso habitual en contaminación atmosférica, formado por la contracción o apócope de *smoke* (humo) y *fog* (niebla). En su uso más frecuente, se refiere a la contaminación por aerosoles en el ambiente urbano, especialmente con un alto contenido en sustancias oxidantes. En castellano se ha traducido por *neblumo*, término más usado en Sudamérica, o *niebla fotoquímica* en España.

Sin embargo, más importante que la concentración total es la distribución en tamaño de las partículas.

Desde la década del 1970 se sabe que las partículas de menor tamaño son más peligrosas para la salud humana, debido a su estado de suspensión en el aire y a su facilidad para quedar retenidas en los pulmones.



Diámetro típico de las partículas de algunos aerosoles atmosféricos (escalas logarítmicas).

Además de sus potenciales efectos nocivos para la salud, la materia particulada de la atmósfera tiene una especial relevancia en el equilibrio energético de la Tierra, dada su capacidad de absorción y dispersión de las radiaciones, además de reducir la visibilidad y afectar a los procesos de formación de nubes y al fenómeno de la precipitación.

Compuesto de azufre.

Los principales compuestos gaseosos de azufre en la atmósfera son el dióxido de azufre, los sulfuros de hidrógeno, dimetilo y carbonilo, y el disulfuro de carbono.

En la tabla siguiente se detallan las concentraciones medias de estos compuestos en diferentes zonas de la atmósfera.

CONCENTRACIÓN ATMOSFÉRICA DE ALGUNOS
COMPUESTOS GASEOSOS DE AZUFRE

Compuesto	Concentración en pptv (10-12)		
	Superficie marina	Superficie terrestre	Aire urbano
Dióxido de azufre (SO ₂)	20	160	1 500
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	3,6-7,5	35-60 (bosques)	365
Sulfuro de dimetilo -SDM- (CH ₃ SCH ₃)	80-110	8-60	—
Sulfuro de carbonilo (OCS)	500	565	—
Disulfuro de carbono (CS ₂)	2-18	35-120	—

Adaptado a Berresheim.

El dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso, es el compuesto azufrado de origen antropogénico más importante. Es un gas incoloro de olor irritante y picante su densidad es 2,2 veces la del aire y desde el punto de vista químico es relativamente estable. Su origen habitual es la combustión de productos fósiles (carbón y derivados de petróleo), con estimaciones de emisión global que superan los 70 millones de toneladas por año.

El sulfuro de hidrógeno, es un gas incoloro, de olor muy desagradable y altamente tóxico. Su origen más frecuente son los procesos naturales de descomposiciones biológicas y las emisiones volcánicas, con una contribución antropogénica (por actividades industriales) despreciable.

El sulfuro dimetilo (SDM) es el principal compuesto de azufre emitido por los océanos.

El sulfuro carbonilo y el sulfuro de carbono, de menor importancia cuantitativa, son gases de origen natural, en su mayor parte procedentes de emisiones oceánicas e incendios forestales.

Compuestos de nitrógeno.

El nitrógeno es el elemento más abundante de la atmósfera en su forma molecular (N_2); pero debido a su gran estabilidad química, no presenta una participación significativa en la química atmosférica. Los compuestos atmosféricos del nitrógeno más importantes son el óxido nitroso, el óxido nítrico, el dióxido de nitrógeno y el amoníaco.

Compuestos del carbono.

Por su estructura química, cabe distinguir dos grupos: óxido de carbono e hidrocarburos.

1) Óxido de carbono.

-El dióxido de carbono, es un gas incoloro e inodoro, más denso que el aire y que presenta en la atmósfera concentraciones medias de unas 300 ppmv. Debido a su carácter atóxico y a su presencia natural en la atmósfera, no es en sentido estricto un contaminante atmosférico. Sin embargo dado su gran potencial como gas efecto invernadero, el vertido antropogénico de estas sustancias a la atmósfera por los procesos de combustión supone, por su acumulación, una potencial amenaza para el equilibrio climático de la Tierra.

-El monóxido de carbono, es un gas incoloro, inodoro y muy tóxico, con una densidad ligeramente inferior a la del aire. Su concentración es más elevada en el ámbito urbano donde ocasionalmente supera valores de 200 ppb (frente a los 100 ppb medios del hemisferio norte).

2) Los hidrocarburos. (HC).

Los HC son un amplio grupo de compuestos orgánicos caracterizados por la presencia de carbono e hidrógeno en su molécula. Mientras que los derivados del azufre o el nitrógeno presente en la atmosfera están perfectamente determinados. Los HC, dada su gran variedad y baja concentración. Suele estudiarse atendiendo a su “clase” fundamental, ya que la identificación rutinaria de HC aislados en la atmosfera, fuera de estudios científicos muy especializados, es tarea prácticamente imposible. Por otra parte todavía está en estudio la química atmosférica de estos compuestos, desconociéndose muchas de las reacciones en las que participan y los efectos que producen.

Compuestos halogenados.

En este grupo se incluyen aquellos compuestos, en su mayor parte orgánicos, que contiene algún elemento halógeno (cloro, flúor, o bromo). Existen varios términos relacionados:

- **Halocarbonos.** Es el término genérico de los compuestos orgánicos halogenados.
- **Clorofluorocarbonos (CFCs).** Son halocarbonos que contienen cloro y flúor.
- **Hidroclorofluorocarbonos (HCFCs).** Halocarbonos que contienen hidrógeno, además de cloro y flúor. Los **hidrofluorocarbonos (HFCs)** no contienen cloro.
- **Halones.** Son halocarbonos basados en el bromo.

Los halogenados se vienen utilizando desde mediados de este siglo en la industria por sus cualidades como refrigerantes, solventes o propelentes.

Su gran estabilidad química los hace aptos para su uso industrial, siendo esta característica el mayor inconveniente de estos compuestos cuando los consideramos en su faceta de contaminantes atmosféricos.

COMPUESTOS HALOGENADOS DE USO FRECUENTE

Compuesto	Nombre genérico	(ppbv)	Vida media (años)	Usos
CFCl_3	CFC-11	0'268	50	Propelente
CF_2Cl_2	CFC-12	0'503	102	Refrigerante
$\text{CF}_2\text{ClCFCl}_2$	CFC-113	0'082	85	Agente limpiador
CF_2HCl	HCFC-22	0'105	13	Propelente y refrigerante
CCl_4	Tetracloruro de C	0'132	42	Desengrasante y limpieza
CH_3CCl_3	Metilcloroformo	0'160	5	Desengrasante y limpieza
CH_3Br	Bromuro de metilo	0'012	1	Pesticida

54

Otros: compuestos tóxicos y nocivos.

Bajo esta denominación se incluyen un grupo de sustancias de naturaleza físico-química muy heterogénea, pero que presentan una gran potencialidad nociva, provocando o pudiendo provocar graves enfermedades o la muerte, incluso en bajas concentraciones.

CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES (COP) VIGILADOS POR LA O.M.S.

Compuesto	I.D.A. (mg/kg)	Uso
Aldrin	0'0001	Pesticida
Dieldrin	0'0001	Pesticida
Endrin	0'0002	Pesticida
DDT	0'02	Pesticida
Clordano	0'0005	Pesticida
Heptacloro $\text{C}_{10}\text{H}_5\text{Cl}_7$	0'0001	Pesticida
Hexaclorobenceno	—	Pesticida
Mirex	—	Pesticida
Toxafeno	—	Pesticida
PCBs	—	Electrónica y procesos químicos
Dioxinas	—	Ningún uso, son productos de la combustión
Furanos	—	Ningún uso, son productos de la combustión

Ingesta Diaria Aceptable. I.D.A. Según la OMS.

➤ FUENTES DE EMISION: CATÁLOGO DE EMISIONES.

El control básico de la contaminación atmosférica debe establecerse sobre las fuentes de emisión de contaminantes. Como fase previa al desarrollo de cualquier

sistema de control hay que realizar el catálogo de las posibles fuentes de emisión y detallar su contribución cualitativa y cuantitativa al proceso de la contaminación.

La realización de este inventario debe cumplir varios objetivos:

- Ofrecer información a la comunidad.
- Definir las prioridades ambientales y establecer los objetivos de control.
- Evaluar posibles impactos ambientales, costes y beneficios de las diferentes políticas de control de emisiones.
- Monitorizar las acciones de control y los resultados obtenidos.

55

CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN

• Según el origen de la emisión	• Fuentes naturales • Fuentes antropogénicas
• Según la movilidad de la fuente	• Fuentes móviles • Fuentes fijas
• Según la distribución espacial	• Focos puntuales • Focos lineales • Focos superficiales
• Según el tipo principal de contaminantes	• SO₂, NO_x, VOC, materia particulada, etc.

❖ CONTAMINANTES SECUNDARIOS: EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.

A pesar de la aparente constancia de la composición atmosférica, la atmosfera es un sistema dinámico en el cual los componentes gaseosos están en continuo intercambio con la biosfera, la litosfera y la hidrosfera.

Existen gases como el N₂ o el O₂ cuya concentración es relativamente constante, mientras que otros como el vapor de agua, el CO₂ y numerosos gases traza presentan una gran variabilidad entre distintas zonas y circunstancias atmosféricas.

Los ciclos vitales de los componentes atmosféricos están determinados por diversos procesos físico-químicos frecuentemente interrelacionados. El tiempo de permanencia en la atmósfera de una determinada sustancia depende esencialmente de la propia naturaleza de la misma, que condicionará su reactividad química, su resistencia a los mecanismos naturales de depuración (formación de partículas, deposición,...) o su tasa de intercambio con otros compartimentos del ecosistema.

Desde el punto de vista físico, el principal problema secundario a la contaminación es el efecto invernadero, amenaza fundamental para el equilibrio climático de la Tierra.

-El efecto invernadero y el cambio climático.

La predicción del cambio climático debida a las actividades humanas fue postulada por primera vez en 1896 por el químico sueco Svante Arrhenius. El rápido desarrollo de la industrialización llevó a Arrhenius a deducir que la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera se incrementaría de forma rápida en los siguientes años, hasta el punto que una duplicación del CO₂ atmosférico conduciría a un incremento de varios grados en superficie terrestre. Lo prematuro de su predicción hizo que esta teoría pasase desapercibida hasta mediados del siglo XX.

A pesar de que algunas observaciones demostraban claramente la elevación de la concentración de CO₂, la opinión científica generalizada era que los océanos eran capaces de absorber el exceso de este gas. Estudios realizados por R. Revelle en 1956 demostraron que la capacidad de absorción del CO₂ por parte del agua del mar era limitada y que por lo tanto, la teoría de Arrhenius podía ser cierta. El científico C. Kelling comenzó a determinar la concentración de CO₂ atmosférico en 1957, y tras solo dos años de estudio ya observó un significado incremento de la misma. Dicha progresión se ha mantenido hasta nuestros días. Paralelamente a la elevación del CO₂ atmosférico, la Tierra ha experimentado un calentamiento estimado entre 0,3 y 0,6 °C desde finales del siglo pasado.

El mecanismo propuesto para explicar la correlación existente entre el CO₂ y la temperatura terrestre es el efecto invernadero. Este efecto consiste esencialmente en la elevación de la temperatura de la superficie terrestre debida a la absorción por

parte de algunos gases atmosféricos, de las radiaciones de onda larga emitidas por aquélla.

En ocasiones se suelen emplear los términos **calentamiento global**, **cambio climático** y **efecto invernadero** para indicar el mismo problema, cuando en realidad el efecto invernadero es la causa del calentamiento de la tierra y éste a su vez conduce, junto a otros factores, a la variación de los patrones climáticos, tales como las variaciones de los regímenes de lluvia, de evaporación, o formación de las nubes.

Los gases efecto invernadero (GEI) incluyen gases naturales, que se ven afectados o incrementados por la actividad humana, y otros gases de origen puramente antropogénico.

57

PRINCIPALES GASES EFECTO INVERNADERO	
Gases de origen natural	Gases de origen antropogénico
• Vapor de agua • Dióxido de carbono • Ozono • Metano • Óxido nitroso	• Grupo de los halocarbonos (CFCs, HCFCs y HFCs) • Compuestos fluorados puros (hexafluoruro de azufre -SF₆-)

El vapor de agua es el contribuyente más importante al efecto invernadero de origen natural, pero al estar primariamente relacionado con el clima es el menos influido directamente por la acción antropogénica. Esto es debido a que la evaporación es dependiente de la temperatura de la superficie terrestre y de los ciclos de vapor de agua en la atmosfera son relativamente rápidos, del orden de 8 a 9 días. Por el contrario, la concentración de los demás gases está fuertemente influida por actividades como la combustión de fósiles, la agricultura y la producción y uso de numerosos productos químicos.

Con la excepción del ozono, los gases efecto invernadero tienen una distribución uniforme en la atmosfera con una concentración prácticamente constante e independiente del punto de emisión. El ozono también se diferencia en el hecho de que no es directamente emitido, sino más bien es una consecuencia de procesos fotoquímicos dependientes de otras sustancias precursoras.

En relación con los procesos de depuración, los gases efecto invernadero, con excepción del vapor de agua y el CO₂, son eliminados principalmente a través de reacciones químicas térmicas y fotoquímicas.

El CO₂ es el gas de mayor importancia desde el punto de vista de la contribución humana al efecto invernadero. Anualmente se vierten al atmosfera alrededor de 25 000 millones de t de este gas (48 000 t por minuto), lo cual representa casi un billón de t vertidas desde la Revolución Industrial hasta nuestros días. Por otra parte, la deforestación y la desertificación han reducido considerablemente la capacidad de depuración de este gas por destrucción masiva de los vegetales; paralelamente, la destrucción de la capa de ozono conduce a un incremento de las radiaciones ultravioleta que llegan a la superficie terrestre, con un gran impacto negativo sobre la densidad del plancton marino, principal sumidero del CO₂ atmosférico. El resultado de estos procesos es la existencia de un desequilibrio en el balance global de este gas en la Tierra, tal como se expone en esta tabla.

BALANCE GLOBAL DEL CO₂ (expresado como 10⁹ t de C/año)

Fuentes	
Combustibles fósiles y procesos productivos	5,5 ± 0,5
Cambios en el uso del suelo, deforestación	1,6 ± 1,0
Total fuentes	7,1 ± 1,1
Destinos	
Captación por los océanos	2,0 ± 0,8
Captación por los bosques	0,5 ± 0,5
Retenido en la atmósfera	3,2 ± 0,2
Total destinos	5,7 ± 1,0
Balance (Fuentes – Destinos)	1,4 ± 1,5

Fuente: IPCC.

En lo referente a los procesos químicos conviene resaltar la diversidad de mecanismos y reacciones implicadas, lo cual se pone de manifiesto por la incesante aparición de nueva teorías y descubrimientos en el área de la química atmosférica. Entre los procesos químicos mejor caracterizados se encuentran:

- Destrucción del ozono estratosférico.
- Lluvia ácida.
- Niebla fotoquímica.

La destrucción de la capa de ozono.

El ozono es el gas traza de mayor importancia en la estratosfera. Aunque su concentración es muy pequeña (alrededor de 300 unidades Dobson), es decisivo para el desarrollo de la vida en este planeta, gracias a su propiedad absorbente de

las radiaciones ultravioleta procedentes del sol. Aunque fue descubierto en 1839, la primera hipótesis sobre su formación se realizó en 1930 por el científico británico S. Chapman, quien afirmó que el ozono se forma mediante fotólisis (es el desdoblamiento de una sustancia por acción de la luz) del O_2 en la alta atmosfera.

En estudios posteriores se observó que el mecanismo de Chapman predecía niveles mayores de O_3 de los que realmente se encontraban en la atmósfera y que, por tanto, debían existir otros procesos químicos implicados. En 1970, Paul Crutzen descubrió el papel de los NO_x en la descomposición del ozono estratosférico, simultáneamente el investigador Harold Johnston postuló el efecto destructivo sobre la capa de ozono de las emisiones de NO_x procedentes de los aviones a reacción. Poco después, Mario Molina y Sherwood Rowland publicaron un reconocido artículo en la revista Nature, en el cual destacaban el papel de los CFCs como agentes degradantes del ozono.

El británico Farman descubrió en 1985 el agujero de ozono de la Antártida, evidencia definitiva de que la destrucción de la capa de ozono ya había empezado. Desde entonces, han sido publicados numerosos estudios que demuestran la reducción masiva del ozono durante la primavera antártica (septiembre a noviembre), así como la importancia creciente de este fenómeno en otras latitudes y épocas del año.

La lluvia ácida.

Se produce cuando las emisiones de óxidos de azufre y nitrógeno reaccionan en la atmosfera con el agua, oxígeno y otros oxidantes, dando origen a diversos compuestos de naturaleza ácida, estos compuestos son depuesto bien en forma seca (gases o partículas) o húmeda (lluvia, nieve o niebla). Los vientos pueden transportar estos compuestos desde su punto de emisión a cientos de kilómetros de distancia, provocando contaminación regional y transfronteriza.

Los procesos de combustión antropogénicos son la principal causa de la lluvia ácida. Las fuentes de combustión fija, en particular las centrales eléctricas, son las principales productoras de SO_x , mientras que las móviles son el origen de un porcentaje elevado de las emisiones de NO_x .

El patrón de distribución global de lluvia ácida ha sido determinado por el **Programa de Monitorización de la Contaminación Atmosférica de Fondo** de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Los PH medios varían entre 3,8 y 6,3; todos estos valores se encuentran por debajo de PH 7, que sería el de una precipitación neutra absoluta; pero el PH “natural” de agua de lluvia es en realidad ligeramente ácido debido a la presencia de CO₂ en la atmósfera, que en estado de equilibrio con el agua pura conduce a un PH de 5,6 para una concentración atmosférica de 350 ppmv de este gas. Es por ello que habitualmente se considera lluvia ácida a aquella cuyo PH es inferior a 5,6; entre 5,0 y 5,6 se asume que existe una moderada acidez, en cierta forma inevitable en una sociedad industrial, mientras que por debajo de 5,0 nos encontramos ya con una marcada acidez que sería la responsable de las graves consecuencias ecológicas de este proceso contaminante.

La denominación de lluvia ácida puede conducir a pensar que la deposición ácida se produce principalmente mediante precipitación cuando en realidad se calcula que dos terceras partes de la deposición ácida se producen en forma seca. En la proximidad de los puntos de emisión la forma seca es la predominante, igualándose la proporción entre ambas deposiciones en lugares remotos.

La contaminación fotoquímica.

El *smog* o niebla fotoquímica es el nombre que recibe una forma particular de contaminación, típicamente urbana, caracterizada por la presencia de sustancias oxidantes generadas por interacción de la luz solar con varios componentes atmosféricos. Los oxidantes atmosféricos más importantes hallados en el *smog* son el ozono, el dióxido de nitrógeno, el peróxido de hidrógeno, el nitrato de peróxido de hidrógeno, el nitrato de peroxiacetilo y otros compuestos de tipo peróxido e hidroperóxido.

Toda la química del *smog* se centra en la formación del ozono a nivel de la baja atmósfera. Mientras que en la estratosfera el ozono se forma gracias al O atómico generado por el mecanismo de Chapman.

➤ Efectos de la contaminación del aire.

Entre las posibles repercusiones potenciales de la contaminación atmosférica se pueden citar las siguientes:

Los efectos derivados del cambio climático, como:

- Elevación del nivel del mar.

Se estima que la elevación de la temperatura experimentada en el último siglo, ha supuesto una elevación del nivel del mar entre 10 y 25 cm y que, si la progresión térmica sigue con esta pauta, se producirá un incremento de unos 50 cm para el año 2050. Aún en el supuesto de que se produjese una estabilización de la temperatura, el nivel del mar seguiría ascendiendo durante décadas.

Las contribuciones de la modificación del clima a los cambios de nivel del mar son:

- ✓ Variaciones de la masa de agua de los océanos (como consecuencia de la lluvia y la descongelación de las grandes masas de hielo) y la expansión térmica por cambio de la densidad del agua.
- ✓ El deshielo y el incremento de la pluviosidad disminuirían la densidad del agua, afectando a las corrientes marinas profundas, como las existentes entre el Atlántico Norte y el cabo de Buena Esperanza o los flujos del océano Índico al Pacífico. Igualmente se alterarían la precipitación, la temperatura y los regímenes de mareas.

- Afectación de los ecosistemas y la biodiversidad.

El calentamiento global estimado para el próximo siglo es de 1-3,5 °C, esto implicaría que las zonas térmicas se desplazarían entre 150 y 550 km hacia el polo, así como en altura entre 150 y 550m. La deforestación y la falta de adaptación rápida de muchas especies al cambio térmico, tendría como consecuencia la pérdida de la biodiversidad y la probable extensión de algunas especies. Los bosques dados su lenta adaptación a los cambios de temperatura se verían seriamente afectados.

Las tierras de pasto, que supone un 50% de la alimentación del ganado serían desplazadas por otras formaciones vegetales como matorrales provocando una disminución de alimentos para el ganado.

Las especies animales y las actividades humanas de alta montaña serían gravemente afectadas. Algunas especies podrían desaparecer y muchas comunidades humanas dependientes de las actividades de montaña (como turismo, centrales hidroeléctricas o agricultura) tendrían una considerable merma de sus recursos.

Las marismas y otras tierras húmedas se verían reducidas debido a una mayor evaporación, lo cual implica la desaparición de especies dependientes de estos ecosistemas y la pérdida de la importante función reguladora de los mismos.

- Aumento de la periodicidad e intensidad de los desastres climáticos.

La existencia de una gran variabilidad climática, responsable histórica de situaciones extremas (olas de calor, inundaciones, grandes heladas, sequías...) y los fenómenos climatológicos casi periódicos como El Niño permiten asegurar que hay una relación directa entre el efecto invernadero y los desastres climáticos. A pesar de ello, los modelos científicos actuales indican una tendencia al incremento de la intensidad y frecuencia de las olas de calor y de las lluvias torrenciales en algunas regiones. Otro posible efecto asociado al calentamiento global es una mayor frecuencia de ciclones tropicales y de huracanes (una de las condiciones para la aparición de los tifones y huracanes es una temperatura de 26 °C o superior).

Efectos sobre la salud.

Los estudios sobre el efecto de contaminación atmosférica sobre la salud humana son probablemente los que más interés despiertan en la comunidad científica. Existen suficientes evidencias de que concentraciones elevadas de contaminantes atmosféricos, como las aparecidas en algunas situaciones episódicas de contaminación urbana en grandes ciudades, son causa del incremento de la morbilidad y de mortalidad por complicaciones cardio-respiratorias. Sin embargo, dado que en nuestra vida diaria estamos expuestos a múltiples contaminantes, es

difícil conocer el efecto aislado de cada uno de ellos o su acción sinérgica en asociación con otros.

El punto de entrada de los contaminantes atmosféricos en el organismo es el aparato respiratorio, en el que se puede distinguir un tracto respiratorio superior (desde fosas nasales hasta la tráquea) y otro inferior constituido por los pulmones y sus conductos bronquiales. El sistema respiratorio presenta diversos mecanismos de protección frente a la entrada de sustancias particulada.

Las partículas de mayor tamaño quedan retenidas en las fosas nasales (por la acción de los pelos de la mucosa nasal) y en la capa mucosa de los conductos respiratorios. Adicionalmente, los cilios de las células mucosas ejercen una acción de impulsión de las partículas y la mucosidad, en el sentido retrogrado hacia la garganta, desviándolas hacia el aparato digestivo.

Las partículas de diámetro inferior, están expuestas a movimiento browniano y suele impactar en la pared de los bronquios antes de llegar a los alveolos. Son estas partículas de menor tamaño las que con mayor probabilidad pueden penetrar en profundidad hasta los alveolos.

En las siguientes tablas se resumen los principales efectos detectados sobre la salud humana por la acción de los contaminantes atmosféricos.

**EFFECTOS DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFERICOS SOBRE LA SALUD HUMANA,
POR TIPO DE SUSTANCIA**

Contaminante	Concentración	Efectos
SO₂ asociado a partículas	200 µg/m ³ (media anual diaria) 500 µg/m ³ (media 24 horas)	• Incremento de la mortalidad en mayores de 50 años. • Incremento de la frecuencia y severidad de las enfermedades respiratorias en niños pequeños. • Incremento de las admisiones hospitalarias por causas cardio-respiratorias. • Agudización de los síntomas en enfermos de bronquitis crónica y enfisema.
NO_x	200 µg/m ³ (media anual diaria)	• Incremento de la frecuencia de infecciones respiratorias. • Irritación pulmonar con síntomas similares al enfisema. • Posible efecto carcinogénico por transformación en nitrosaminas.
CO	50 ppmv (2 horas) 30 ppmv (8 o más horas)	• Carboxihemoglobinemia. • Cefalea. • Visión borrosa. • Alteraciones psicomotoras. • Cambios funcionales cardíacos y pulmonares.

O₃ y PAN	A partir de 0,2 ppm (400 µg/m ³) de media diaria	• Irritación ocular. • Agravación de las crisis de asma.
Plomo	Concentración en sangre superior a 40 µg/dl	• Alteraciones del comportamiento y rendimiento escolar en niños. • Posibles anomalías fetales. • Neurotoxicidad.

**EFFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE LA SALUD HUMANA,
AGRUPADOS POR APARATOS Y SISTEMAS**

Sistema / Aparato	Efectos
Aparato cardiovascular	• Varias toxinas ambientales: plomo, CO₂, asbesto, arsénico, ozono, cadmio, cloruro de vinilo, CFCs y pesticidas, se han relacionado epidemiológicamente con la hipertensión y arritmias cardíacas. • Entre los mecanismos sugeridos de actuación de estas toxinas se incluyen: (1) lesión de los endotelios vasculares, (2) activación de leucocitos y plaquetas, (3) iniciación de la placa aterosclerótica, (4) estimulación de la respuesta inflamatoria, (5) hipertensión secundaria a lesión renal.
Aparato respiratorio	• A los efectos más conocidos de los contaminantes atmosféricos, recogidos en la tabla anterior, se pueden añadir las enfermedades relacionadas con la exposición a ciertos aeroalergenos y agentes infecciosos que serán tratadas en la próxima unidad didáctica.
Sangre y sistema hematopoyético	• Se ha demostrado la alteración de la hemoglobina con reducción de su capacidad de transporte de oxígeno, en relación con el CO, los NOx y otros tóxicos ambientales. • El plomo y el arsénico pueden dañar directamente la membrana de los eritrocitos y dar origen a algunos tipos de anemias. • Ciertos compuestos orgánicos volátiles y sus metabolitos se han relacionado con la aparición de leucemias. • Algunos pesticidas y herbicidas se han asociado con la anemia aplásica y el desarrollo de linfomas.
Piel	• Aunque la mayoría de los efectos de la contaminación atmosférica sobre la piel se relacionan con el exceso de radiación UV, algunos estudios actuales apuntan a que la absorción de contaminantes atmosféricos por vía transcutánea podría ser una fuente adicional de patologías.
Sistema nervioso	• Además del plomo, se han identificado otros muchos compuestos tóxicos supuestamente neurotóxicos. • Estudios recientes en el área de la psiquiatría ponen también de manifiesto que la contaminación atmosférica en todas sus vertientes supone un factor de estrés que agrava ciertas condiciones psiquiátricas.
Sistema inmune	• Los gases y partículas que penetran en los pulmones desencadenan respuestas inflamatorias inespecíficas en la mayor parte de los casos; sin embargo, ciertas sustancias —como el berilio— son capaces de estimular la aparición de respuestas inmunológicamente mediadas por linfocitos T, induciendo la aparición de enfermedades pulmonares granulomatosas. • El mercurio se ha relacionado con la aparición de enfermedades autoinmunes afectando a riñones y pulmones en animales de experimentación. • La exposición a hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) produce inmunosupresión. • Numerosas sustancias vehiculadas por el aire son causa de asma ocupacional cuyo origen son reacciones de hipersensibilidad alérgica.

Aparato genitourinario	• El plomo y algunos compuestos orgánicos volátiles pueden producir esterilidad. • Algunos metales pesados como el plomo y el mercurio son nefrotóxicos y pueden dar lugar a insuficiencia renal. • Las aminas aromáticas, que se producen en ciertos procesos industriales, causan cáncer de la vejiga urinaria.
Sistema endocrino	• El plomo, algunos pesticidas, los productos de combustión procedentes de las incineradoras y otros productos químicos, están actualmente en estudio ante la hipótesis —demostrada en algunos casos— de que afectan al equilibrio hormonal del ser humano.
Aparato digestivo	• La absorción de diversos productos químicos —en su mayor parte de origen industrial— se ha relacionado con el desarrollo de gastritis, necrosis esofágico-gástrica y cáncer gastrointestinal.

❖ CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA.

- **La contaminación biológica atmosférica**, la podemos definir como la presencia de aire (exterior e interior) de bioaerosoles que, por sus características o su concentración excesiva, pueden provocar efectos nocivos sobre las personas, ecosistemas o bienes de cualquier naturaleza.

(Bioaerosol o aerosol biológico, se denomina al aerosol atmosférico en forma de partícula sólida o líquida que contiene organismos vivos o sustancias de origen biológico. Entre los organismos vivos podemos destacar los virus, las bacterias y los hongos. También es frecuente la presencia de pequeños invertebrados, como los ácaros del polvo y ocasionalmente la de algas y protozoos)

La contaminación biológica atmosférica es la derivada de la presencia de seres vivos en el aire, es conveniente señalar las diferencias entre los contaminantes generados por los ecosistemas naturales y los debidos a la actividad humana.

- Contaminantes biológicos de origen natural.

El viento es el principal agente de dispersión de los microorganismos y productos biológicos, desde los ecosistemas acuáticos y terrestres hacia el aire. En su mayor parte los microorganismos se adhieren a partículas sólidas o están incluidos en el seno de pequeñas gotitas de agua aerosolizadas. Estos aerosoles actúan como un micro-hábitat que incrementa su supervivencia y facilita, en algunos casos, su reproducción.

Entre los microorganismos más representativos encontramos **procariotas** – bacterias- y **eucariotas**- mohos, levaduras, protozoos y algas microscópicas-, así como sus formas de resistencia (esporas y quistes). Los virus, o **acariotas**, pueden ser también transportados por el aire, pero dada su naturaleza de parásitos intracelulares obligatorios, sólo pueden diseminarse asociados a la célula a la que parasitan. Esta circunstancia y la especial sensibilidad de los virus a las condiciones ambientales, determina que en la atmósfera la transmisión de estas formas de vida sólo tenga importancia en la proximidad del foco emisor; por el

Además de los microorganismos, los pequeños invertebrados y diversos productos de origen animal y vegetal, también pueden contribuir de modo importante al contenido biológico del aire. Entre los elementos más característicos de este grupo están:

- Contaminantes biológicos generados por las actividades humanas.

Muchas actividades humanas tradicionales se relacionan con el uso y liberación de aerosoles de microorganismos al aire.

El reciente desarrollo de la Biotecnología, con su capacidad para efectuar la selección genérica de los microorganismos y alterar su genoma, mediante técnicas de biología molecular, supone un riesgo adicional para la salud humana y el equilibrio natural de los ecosistemas. Esta problemática ha sido recogida por la legislación española en el Real Decreto 664/1997 y la Orden de 25 de marzo de 1998, sobre protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.

**ACTIVIDADES QUE PUEDEN SER CAUSA POTENCIAL
DE CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA**
(según el R.D. 664/1997)

- Centros de producción de alimentos (plantas de procesado alimentario, fábricas de piensos, etc.).
- Trabajos agrarios (irrigación con aguas negras, tratamientos plaguicidas con microorganismos, ...).
- Actividades en las que existe contacto con animales o sus productos (ganadería, mataderos, industrias de curtido, etc.).
- Asistencia sanitaria y servicios de Anatomía Patológica.
- Laboratorios clínicos y veterinarios.
- Actividades de tratamiento y eliminación de residuos.
- Instalaciones depuradoras de aguas residuales.

69

En este mismo Real Decreto se establecen cuatro grupos para clasificar a los agentes biológicos en función del riesgo de infección:

- Agente biológico del grupo 1:** aquel que resulta poco probable que cause una enfermedad al ser humano.
- Agente biológico del grupo 2:** aquel que puede causar una enfermedad a las personas y supone un peligro para los trabajadores, siendo poco probable que se propague a la colectividad y existiendo generalmente profilaxis o tratamiento eficaz.
- Agente biológico del grupo 3:** aquel que puede causar una enfermedad grave al ser humano y presenta un serio peligro para los trabajadores, con riesgo de que se propague a la colectividad y existiendo generalmente una profilaxis o tratamiento eficaz.
- Agente biológico del grupo 4:** aquel que causando una enfermedad grave en el hombre supone un serio peligro para los trabajadores, con muchas

probabilidades de que se propague a la colectividad y sin que exista generalmente una profilaxis o un tratamiento eficaz.

➤ Epidemiología de la contaminación biológica.

Los efectos nocivos para la salud derivados de la contaminación biológica del aire pueden clasificarse en tres apartados: infecciones, alergias y toxicidad.

- Infecciones.

Las principales infecciones relacionadas con la contaminación biológica del aire son las infecciones respiratorias.

Las **fuentes naturales** son básicamente las erupciones volcánicas, los incendios forestales y los procesos de descomposición de la materia orgánica en el suelo y los océanos. Aunque las emisiones de origen natural son cuantitativamente muy importantes, su control se escapa de los medios humanos.

Las emisiones de **origen antropogénico**, sobre las cuales sí es posible alguna forma de actuación, pueden ser caracterizadas atendiendo a diversos criterios, como son: la movilidad de la fuente, el tipo principal de contaminantes vertidos o la distribución espacial de las emisiones.

Desde el punto de vista de la movilidad cabe diferenciar **las fuentes móviles** (vehículos de transporte por carretera, aéreos y fluviales) de **las fuentes fijas** (industrias y viviendas). Se puede afirmar que existe una correspondencia clara entre la contaminación por fuentes móviles-contaminación fotoquímica y la contaminación por fuentes fijas-contaminación ácida.

Es posible realizar otra clasificación que tome en consideración la forma en que los contaminantes emitidos se distribuyen en el espacio. Según este criterio se puede hablar de **focos puntuales**, como la salida de una chimenea, **lineales** como las vías de transporte o **superficiales**, como las zonas o polígonos industriales de una ciudad.

El sistema de clasificación según la distribución espacial es particularmente útil cuando se estudia los procesos de dispersión de los contaminantes, siendo de gran

importancia para el desarrollo de modelos matemáticos de difusión y la ingeniería del control de emisiones.

Aunque la Administración española ya realizó en 1975 un catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmosfera (anexo II del Decreto 833/1975 de 6 febrero por el que se desarrolla la Ley 38/1972 de 22 e diciembre), no existe estudios fiables de emisión hasta los primeros años de la década de 1980, cuando, coincidiendo con la entrada de España en la Comunidad Europea, fueron iniciados por la Dirección General de Medio Ambiente (DGMA). Este inventario fue publicado en 1988. En él se recogía información sobre cuatro contaminantes (SO₂, NO_x, VOC y materia particulada), al tiempo que se reconocían diez fuentes de contaminación.

Simultáneamente, la OCDE desarrolló su programa MAP de características muy similares al inventario DGMA, incluyendo, además de a los 15 Estados miembros, a Noruega y Suiza. Los resultados de dicho estudio fueron publicados en 1990.

Como resultado de la Resolución 85/338/CEE del Consejo de la Unión Europea, se inicio en el año 1985 el programa CORINE (**COoRdination d'INformation Environmentale**) cuyos objetivos eran la recolección de datos fiables sobre el estado del medio ambiente en Europa. En el marco de este programa se realizó un inventario de contaminantes atmosféricos denominado **Corinair85**. Sus resultados fueron publicados en 1991. Se inició en este momento una actualización del proyecto que se llamó **Corinair90** que pretendía, entre otros objetivos, adaptarse a los requerimientos de la Convención de Ginebra de 1979 sobre Contaminación Transfronteriza a Larga Distancia y a los protocolos derivados, así como a los acuerdos del Convenio Marco del Cambio Climático auspiciado por el IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático).

El inventario de Corinair90.

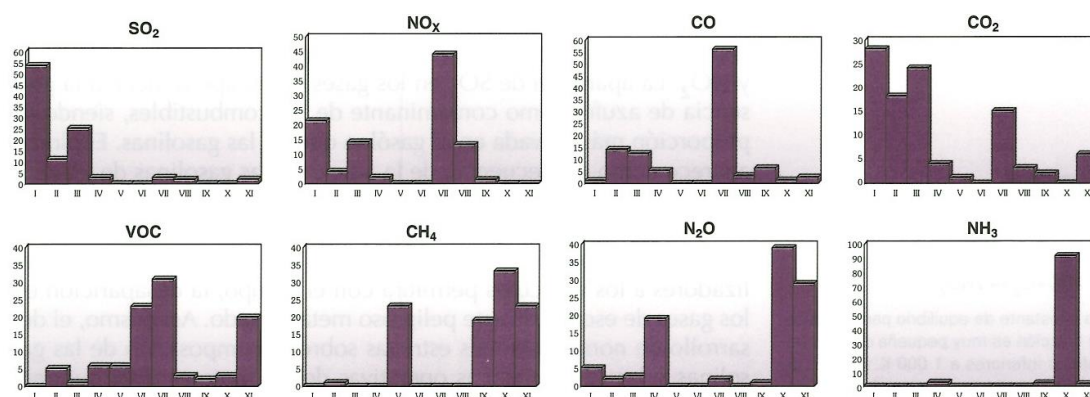
Los resultados de este inventario se publicaron en 1995. Es el más completo de los realizados en Europa. Algunas de sus características más importantes son las siguientes:

- Países incluidos en el estudio.
 - ✓ Los 12 estados miembros de 1990 (Alemania, Bélgica, Dinamarca, España, Francia, Grecia, Holanda, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Portugal y Reino Unido).
 - ✓ Los 5 países de la EFTA (Austria, Finlandia, Noruega, Suecia y Suiza).
 - ✓ Los 3 Estados bálticos (Estonia, Lituania y Letonia).
 - ✓ 9 países de Europa Central y del Este (Albania, Bulgaria, Croacia, República Checa, Eslovaquia, Hungría, Polonia, Rumanía y Rusia).
- Contaminantes atmosféricos investigados (fueron ocho).
 - ✓ Amoníaco.
 - ✓ Compuestos orgánicos volátiles no-metano (NMVOC).
 - ✓ Dióxido de azufre.
 - ✓ Dióxido de carbono.
 - ✓ Metano.
 - ✓ Monóxido de carbono.
 - ✓ Óxido nitroso.
 - ✓ Óxidos de nitrógeno (NO_x).
- Fuentes principales de contaminantes reconocidas (once en total).
 - ✓ Generación de energía, cogeneración y calefacción de distrito (gas ciudad).
 - ✓ Plantas de combustión comerciales, residenciales o institucionales.
 - ✓ Combustión industrial.
 - ✓ Procesos productivos industriales.
 - ✓ Extracción y distribución de combustibles fósiles.
 - ✓ Uso de solventes.
 - ✓ Transporte por carretera.
 - ✓ Otras fuentes móviles y maquinaria.
 - ✓ Tratamiento y eliminación de residuos.
 - ✓ Agricultura.
 - ✓ Naturaleza.

Los datos obtenidos en este inventario, se exponen en la tabla siguiente y en la figura. Su análisis permite establecer de forma simplificada cuatro grupos de procesos básicos como causa de la contaminación atmosférica, la combustión de fuentes móviles, la combustión de fuentes fijas, los procesos industriales y los biogénicos.

EMISIONES DE 8 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN EUROPA (%)								
CATEGORÍA	SO ₂	NO _x	VOC	CH ₄	CO	CO ₂	N ₂ O	NH ₃
1. Generación de energía, calefacción (gas ciudad)	54	21	0	0	1	28	5	0
2. Plantas de combustión comerciales, residenciales	11	4	5	1	14	18	2	0
3. Combustión industrial	25	14	1	0	12	24	3	0
4. Procesos productivos	3	2	6	0	5	4	19	3
5. Extracción y distribución de combustibles fósiles	0	0	6	23	0	1	0	0
6. Uso de solventes	0	0	23	0	0	0	0	0
7. Transporte por carretera	3	44	31	0	56	15	2	0
8. Otras fuentes móviles y maquinaria	2	13	3	0	3	3	0	0
9. Tratamiento y eliminación de residuos	0	1	2	19	6	2	1	2
10. Agricultura	0	0	3	33	1	0	39	92
11. Naturaleza	2	0	20	23	2	6	29	2
Millones de t/año	27'87	17'92	21'77	45'41	69'71	4 764	1'88	5'70
kg <i>per capita</i> /año (sólo fuentes antropogénicas)	56	37	36	72	140	9 166	3	11

Fuente: Programa Corinair90. Agencia Europea de Medio Ambiente. (EEA).



Representación gráfica de las emisiones europeas de los ocho contaminantes atmosféricos indicados en la tabla superior.

➤ Epidemiología de la contaminación biológica.

Los efectos nocivos para la salud derivados de la contaminación biológica del aire pueden clasificarse en tres apartados: infecciones, alergias y toxicidad.

- Infecciones.

Las principales infecciones relacionadas con la contaminación biológica del aire son las infecciones respiratorias. A veces, desde la habitual vía de entrada respiratoria, los microorganismos pueden colonizar otras áreas corporales, provocando graves enfermedades como es el caso de alguna forma de meningitis.

No todas las enfermedades son necesariamente transmisibles de persona a persona: algunos agentes patógenos (en su mayor parte de origen ambiental) sólo causan infracciones como consecuencia de una exposición continuada, generalmente en relación con una actividad profesional y su transmisión directa entre personas es altamente improbable. Otra situación especial es la de ciertas infecciones que afectan a personas que presentan una salud comprometida por una enfermedad subyacente (infecciones producidas por **microorganismos oportunistas** [todos aquellos organismos que siendo habitualmente comensales inofensivos en la piel y mucosas pueden provocar una infección cuando el organismo humano se encuentra alterado, inmunodepresión] o un estado de depresión inmunitaria

(inmunodeprimidas); estas infecciones, son de especial importancia en el ámbito hospitalario –**infecciones nosocomiales u hospitalarias**- *[es cualquier enfermedad adquirida en el medio hospitalario, debida a microorganismos reconocibles clínicamente o microbiológicamente, o de ambos modos, que afectan a pacientes ingresados o que han recibido tratamiento en el hospital (personas internadas o en régimen ambulatorio), o bien a personal sanitario por razones de trabajo, independientemente de que los síntomas aparezcan mientras el individuo permanezca ingresado]* donde es frecuente la existencia de resistencia múltiple a los agentes antiinfecciosos.

75

Las infecciones pueden ser clasificadas en tres grupos:

- ✓ Transmisibles de persona a persona.
 - ✓ No transmisibles de persona a persona.
 - ✓ Intra-hospitalarias o nosocomiales.
- Infecciones transmisibles de persona a persona.

Se incluyen en este grupo aquellas infecciones, denominadas tradicionalmente infecto-contagiosas, que tiene un elevado índice de transmisión entre los seres humanos y que ocasionalmente aparece en forma de epidemia.

Estos procesos infecciosos representan el mayor porcentaje de las infecciones. Son la causa más frecuente de morbilidad en la población general, llegándose a declarar anualmente, tan solo en España, más de 19 millones de casos de infecciones respiratorias agudas (IRA) de causa inespecífica y de 2 a 3 millones de casos de gripe. En la tabla siguiente se reflejan las principales enfermedades de transmisión respiratoria sujetas a declaración obligatoria.

ENFERMEDADES DE DECLARACIÓN OBLIGATORIA (EDO) DE TRANSMISIÓN AÉREA

INFECCIÓN	AGENTE CAUSAL	Nº CASOS (1998)	Nº CASOS (1999)
Escarlatina* (1996)	<i>Streptococcus pyogenes</i>	6 492	
Gripe	Virus de la gripe (<i>Haemophilus influenzae</i>)	2 598 351	3 222 231
Enfermedad meningocócica	<i>Neisseria meningitidis</i>	1 112	1 315
IRA* (1996)	Varios	19 787 699	
Neumonías* (1996)	Varios	164 986	
Parotiditis	Virus de la parotiditis	2 857	4 145
Rubéola	Virus de la rubéola	884	533
Sarampión	Virus del sarampión	446	244
Tos ferina	<i>Bordetella pertussis</i>	315	410
Tuberculosis respiratoria	<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	8 927	8 298
Varicela	Virus de la varicela	193 867	288 529
Legionelosis	<i>Legionella pneumophila</i>	342	430

Fuente: Instituto de Salud Carlos III y Centro Nacional de Epidemiología. Ministerio de Sanidad y Consumo.

➤ Infecciones no transmisibles de persona a persona.

Se incluyen aquí infecciones diversas, causadas por microorganismos procedentes de cultivos agrícolas, animales, de origen ambiental y del suelo o reservorio de depósito.

En la siguiente tabla se indican algunas de las infecciones más representativas pertenecientes a este grupo.

INFECCIONES NO TRANSMISIBLES MÁS FRECUENTES			
ENFERMEDAD	AGENTE	CLASIFICACIÓN	FUENTE
Infección por hantavirus	<i>Hantavirus</i>	Virus	Roedores
Ántrax	<i>Bacillus anthracis</i>	Bacteria	Ganado
Psitacosis	<i>Chlamydia psittaci</i>	Bacteria	Pájaros
Fiebre Q (rickettsiasis)	<i>Coxiella burnetti</i>	Bacteria	Ganado
Tularemia	<i>Francisella tularensis</i>	Bacteria	Animales silvestres
Enfermedad pulmonar cavitaria (micobacterias atípicas)	<i>Mycobacterium spp.</i>	Bacteria	Ambiental
Nocardiosis	<i>Nocardia asteroides</i>	Actinomicetal	Ambiental
Aspergilosis	<i>Aspergillus spp.</i>	Hongo	Ambiental
Blastomicosis	<i>Blastomyces dermatitidis</i>	Hongo	Ambiental

➤ Infecciones nosocomiales (IN)

Son enfermedades infecciosas adquiridas en el medio hospitalario, que afectan a pacientes ingresados o que han recibido tratamiento en el hospital, o bien al personal sanitario por razones de trabajo, independientemente de que los síntomas aparezcan mientras el individuo permanece ingresado.

La vía habitual o más frecuente de transmisión de los microorganismos relacionados con la infección nosocomial suele ser el contacto directo con las manos del personal sanitario. La transmisión por vía aérea, por contacto indirecto (fórmite) o por expansión a una fuente común, aunque frecuentes e importantes, tienen menor incidencia. Los gérmenes responsables de las infecciones nosocomiales, muy frecuentemente son materias gram negativas.

Estas infecciones tienen gran incidencia en pacientes ingresados en áreas de cuidados intensivos, cirugía y neonatología, siendo más susceptibles a ellas las personas mayores de 60 años y los neonatos.

Por otra parte algunas infecciones, habitualmente no transmisibles por vía respiratoria, pueden transmitirse por vía aérea como es el caso de las infecciones de heridas o quemaduras producidas por microorganismos ubicados, tales como el estafilo dorado (*Staphylococcus aureus*).

Ciertos microorganismos, como los reflejados en la tabla siguiente, son causantes habituales de las infecciones nosocomiales.

AGENTES CAUSALES HABITUALES DE INFECCIONES NOSOCOMIALES PRIMARIAS DE TRANSMISIÓN AÉREA

AGENTE	GRUPO	CARACTERÍSTICAS DE LAS BACTERIAS
<i>Acinetobacter spp.</i>	Bacteria	Gram negativa
<i>Alkaligenes spp.</i>	Bacteria	Gram negativa
<i>Bordetella pertussis</i>	Bacteria	Gram negativa
<i>Cardiobacterium spp.</i>	Bacteria	Gram negativa
<i>Clostridium tetani</i> *	Bacteria	Gram positiva
<i>Coccidioides immitis</i>	Hongo	
<i>Corynebacterium diphtheria</i>	Bacteria	Gram positiva
<i>Cryptococcus neoformans</i>	Hongo	
<i>Enterobacter cloacae</i> *	Bacteria	Gram negativa
<i>Enterococcus spp.</i> *	Bacteria	Gram positiva
<i>Haemophilus influenzae</i>	Bacteria	Gram negativa
<i>Histoplasma capsulatum</i>	Hongo	
Influenza (gripe)	Virus	
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	Bacteria	Gram negativa
<i>Moraxella catarrhalis</i>	Bacteria	Gram negativa
MorbilliVirus (rubéola)	Virus	
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Bacteria	Ácido alcohol resistente
<i>Nocardia asteroides</i>	Actinomicetal	
Parainfluenza	Virus	
Paramyxovirus (parotiditis)	Virus	
<i>Pneumocystis carinii</i>	Protozoo	
<i>Pseudomona aeruginosa</i>	Bacteria	Gram negativa
<i>Pseudomona cepacia</i> *	Bacteria	Gram negativa
<i>Pseudomona mallei</i>	Bacteria	Gram negativa
<i>Pseudomona pseudomallei</i>	Bacteria	Gram negativa
<i>Serratia marcescens</i>	Bacteria	Gram negativa
<i>Staphylococcus aureus</i>	Bacteria	Gram positiva
<i>Staphylococcus epidermis</i> *	Bacteria	Gram positiva
<i>Streptococcus pneumoniae</i>	Bacteria	Gram positiva
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Bacteria	Gram positiva
Virus Respiratorio Sincitial	Virus	

* Causan infecciones no respiratorias

➤ Las alergias.

El término alergia se aplica habitualmente a un grupo de enfermedades caracterizadas por una reacción exagerada del sistema inmunológico ante la presencia de una sustancia o ser vivo que, por su naturaleza, es reconocida como ajena a la composición habitual del organismo. En sentido estricto, esta definición es aplicable a las llamadas **reacciones de hipersensibilidad inmune**, de las cuales la alergia es un tipo particular.

En condiciones normales, la entrada en el organismo de una sustancia extraña desata una serie de reacciones defensivas: inicialmente se produce una respuesta de carácter inespecífico (**respuesta inflamatoria**) medida por leucocitos neutrófilos y otras células defensivas de los tejidos corporales; cuando dicha respuesta es insuficiente, nuestro organismo desarrolla una respuesta específica (**respuesta inmune**) cuyas características principales son la capacidad de reconocer la estructura química de la sustancia agresora o **antígeno** y de reaccionar ante ella de manera selectiva mediante sustancias de naturaleza proteica denominados **anticuerpos** y células inmunes **-linfocitos-** que guardan la información de este contacto a modo de **memoria inmunológica**, con el objeto de poder reaccionar más rápidamente ante esta sustancia en posibles agresiones posteriores.

Esta respuesta en situaciones normales pasa desapercibida, puede ser anormalmente desmesurada en algunas personas ante la presencia de ciertos antígenos, frente a los cuales muestran un exceso de cierta **sensibilización**. Esta forma anómala de reacción (en griego: *allos ergos*) es la alergia, muy relacionada con la estructura genética del individuo que la padece.

En la tabla siguiente están recogidas las alergias biológicas más comunes.

AEROALERGENOS BIOLÓGICOS COMUNES

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Ácaros <ul style="list-style-type: none"> Ácaros del polvo <ul style="list-style-type: none"> – <i>Dermatophagoides pteronyssinus</i> – <i>Dermatophagoides farinae</i> – <i>Euroglyphus maynei</i> – <i>Blomia tropicalis</i> Arañas domésticas • Insectos <ul style="list-style-type: none"> Cucarachas <ul style="list-style-type: none"> – <i>Blatella germanica</i> – <i>Periplanetta americana</i> – <i>Blatta orientalis</i> Otros: escarabajos, moscas, etc. • Productos animales (pelos, plumas, etc.) <ul style="list-style-type: none"> Animales domésticos y de granja: gatos, perros, etc. Otros animales: conejos, cerdos, caballos, pájaros cantores, aves tropicales, gallinas. Roedores <ul style="list-style-type: none"> – Salvajes: ratones y ratas – Mascotas: cobaya y hámster | <ul style="list-style-type: none"> • Productos vegetales <ul style="list-style-type: none"> Polen Fibras Semillas Aceites y compuestos volátiles • Hongos que se desarrollan en el ambiente interior <ul style="list-style-type: none"> <i>Acremonium spp.</i> <i>Alternaria spp.</i> <i>Aspergillus spp.</i> <i>Cladosporium spp.</i> <i>Cryptococcus spp.</i> <i>Fusarium spp.</i> <i>Penicillium spp.</i> <i>Rhizopus spp.</i> • Hongos de origen exterior: múltiples especies • Bacterias <ul style="list-style-type: none"> <i>Micropolyspora faeini</i> <i>Thermoactinomyces spp.</i> <i>Mycobacterium tuberculosis</i> • Protozoos <ul style="list-style-type: none"> <i>Acanthamoeba polyphaga</i> <i>Naegleria gruebi</i> |
|--|--|

Como consecuencia de las reacciones de hipersensibilidad inmune provocadas por los Aero alérgenos, se originan dos importantes grupos de patologías:

- ✓ Asma y rinitis.
- ✓ Neumonitis por hipersensibilidad.

➤ Asma y rinitis.

Ambas están provocadas por reacciones de hipersensibilidad inmediata. La mayoría de los alérgenos implicados en estas reacciones son proteínas con actividad enzimática con un peso molecular comprendido entre 10 000 y 50 000 **dalton** (es la duodécima parte de la masa de un átomo del nucleído carbono 12. También se

conoce como unidad de masa atómica). Tanto el asma como la rinitis pueden ser estacionales o perennes. Los alérgenos estacionales más importantes son los pólenes, los hongos y los detritos de insectos, que provocan estas alergias en determinadas épocas del año, según sus ciclos biológicos. En España el periodo de mayor actividad de estos alérgenos es el comprendido entre el final de la primavera y mediados del verano. Los alérgenos más comúnmente relacionados con las alergias no estacionales son el polvo doméstico, en particular los ácaros, las cucarachas, los hongos que se desarrollan en el interior de las viviendas y los productos de origen animal.

En la siguiente tabla se recogen las especies de temporada cuyos pólenes son causa frecuente de alergias en España.

ESPECIES DE TEMPORADA CUYOS PÓLENES SON CAUSA FRECUENTE DE ALERGIAS EN ESPAÑA	
Nombre científico	Nombre común
<i>Alnus glutinosa</i>	Aliso
<i>Asteraceae</i> (compuestas)	Ambrosía, Artemisia y <i>Helianthus</i> (girasoles)
<i>Betula spp.</i>	Abedul
<i>Casuarina aquisetifolia</i>	Casuarina (pino australiano o pino de París)
<i>Chenopodium album</i>	Quenopodio
<i>Cupressus spp.</i>	Ciprés
<i>Fraxinus spp.</i>	Fresno
<i>Ligustrum spp.</i>	Aligustre
<i>Morus spp.</i>	Moral o morera
<i>Olea europaea</i>	Olivo
<i>Plantago spp.</i>	Plátano
<i>Platanus hybrida</i>	Plátano de sombra (plátano de Londres)
<i>Poaceae</i> (gramíneas)	Incluye múltiples especies, entre ellas malas hierbas como la grama o el ballico y especies cultivadas como la avena, el centeno o el trigo.
<i>Populus alba</i>	Álamo
<i>Populus nigra</i>	Chopo
<i>Quercus spp.</i>	Diversas especies: roble, encina, coscoja y alcornoque
<i>Urtica spp.</i>	Ortigas

➤ Neumonitis por hipersensibilidad.

La neumonitis por hipersensibilidad, también llamada alveolitis alérgica extrínseca, es una reacción inflamatoria inmune que afecta al intersticio pulmonar, a los bronquiolos terminales y a los alveolos. El mecanismo básico que origina esta

patología es una reacción de hipersensibilidad inmune tardía o celular. En su génesis intervienen diversos agentes alergénicos relacionados frecuentemente con actividades profesionales.

ENFERMEDAD	ORIGEN	ANTÍGENOS IMPLICADOS
Pulmón del granjero	Heno mohoso, caña de azúcar	<i>Micropolyspora faeni</i>
Pulmón del criador de aves	Periquitos, palomas, gallinas	Proteínas séricas en las deyecciones de las aves
Pulmón del cultivador de setas	Setas, chapiñones	<i>Micropolyspora faeni</i> <i>Thermoactinomyces spp.</i>
Pulmón del cultivador de malta	Malta, cebada mohosa	<i>Aspergillus spp.</i>
Suberosis	Polvo de corcho	<i>Penicillium frequentans</i>
Pulmón del lavador de queso	Moho del queso	<i>Penicillium casei</i>
Bagazosis	Bagazo (caña de azúcar)	<i>Micropolyspora faeni</i> <i>Thermoactinomyces spp.</i>
Fiebre del humidificador	Aire acondicionado, humidificadores	Varios: <i>Micropolyspora faeni</i> , <i>Thermoactinomyces spp.</i> , etc.

La prevalencia de estas enfermedades no está bien determinada, aunque es muy inferior a la del asma alérgico. La enfermedad más frecuente de este grupo es el denominado *pulmón del granjero*, patología provocada por un actinomiceto termófilo que se encuentra en el forraje de los animales, el estiércol y en algunas plantas como la caña de azúcar.

Otra patología importante de este grupo es la llamada, **fiebre del humidificador**, asociada al uso de los sistemas de acondicionamiento de aire en los edificios. Los estudios realizados indican que su origen es la exposición múltiple a diversos antígenos de hongos, actinomicetos e incluso amebas que tiene la facultad de desarrollarse en el ambiente húmedo que propician los sistemas de aire acondicionado. La incidencia de esta patología está aumentando y los estudios en curso la relacionan con el **síndrome del edificio enfermo** (es un término adaptado por la Organización Mundial de la salud (OMS 1982), para referirse a una situación en los que los ocupantes de un edificio muestran síntomas como estrés, depresión, jaquecas, problemas respiratorios, inflamación de la garganta o irritación en los ojos, problemas dermatológicos y otros síntomas inespecíficos provocados por factores relacionados con las condiciones del edificio en que se desarrollan su

actividad. Su origen es multifactorial, mala calidad del aire, contaminación biológica, ruido iluminación inadecuada, etc....

La OMS (1982) distinguió entre síndrome del edificio enfermo temporal y permanente, según disminuyan o desaparezcan los síntomas con el tiempo. Algunas de las enfermedades relacionadas con el edificio enfermo son la neumonitis por hipersensibilidad, la fiebre de los humidificadores, asma, rinitis alérgica, legionelosis, tuberculosis y gripe.)

83

➤ Toxicidad.

La toxicidad relacionada con exposición a contaminantes biológico por vía aérea es poco conocida. Los cuadros agudos de neumonitis por hipersensibilidad, en particular la fiebre del humidificador, presentan ciertas características que hacen sospechar a los investigadores que junto al afecto derivado de la hipersensibilidad inmune podría existir un componente tóxico asociado a toxinas bacterianas o fúngicas.

Entre las toxinas sospechosas destacan las micotoxinas. Estas sustancias son metabolitos fúngicos cuyos efectos demostrados varían entre la irritación de la piel y las mucosas hasta la inmunosupresión y el cáncer.

Otra vía potencial de entrada de estas toxinas en el organismo es la piel. Diversas toxinas biológicas se han relacionado con la aparición de dermatosis, aunque no existen evidencias de síntomas sistémicos derivados de su absorción dérmica.

Otros factores de contaminación de interiores con mayor incidencia sobre la calidad del aire son:

- ✓ Humo de tabaco: es la principal fuente de contaminación de interiores. Está compuesta por su mezcla de más de 4 000 sustancias en fase gaseosa y particulada. Su relación con el cáncer de pulmón, las enfermedades pulmonares obstructivas crónicas y las cardiovasculares está perfectamente establecida, afectando tanto a fumadores como a cualquier persona expuesta a él, los llamados fumadores pasivos.

- ✓ **Productos de combustión:** como consecuencia de la preparación de alimentos, la calefacción, el caldeo del agua o las emisiones de los automóviles en los garajes de las viviendas.
- ✓ **Compuestos orgánicos volátiles:** los materiales de construcción y revestimiento de las viviendas, los equipamientos de oficinas (fotocopiadoras, impresoras, etc.); los adhesivos, pinturas, productos de limpieza y otro gran número de productos usados en nuestra vida cotidiana, son fuentes de compuestos orgánicos volátiles, entre los que podemos destacar al formaldehído, los pesticidas y algunos compuestos aromáticos (derivados del benceno) que se han relacionado con el desarrollo del cáncer y otra muy diversa sintomatología.
- ✓ **Metales pesados:** destacan entre ellos el plomo derivado de las emisiones de los automóviles que usan combustibles con este aditivo y las pinturas anticorrosión.

SÍNTOMAS COMUNES DE LA CONTAMINACIÓN DE INTERIORES

SIGNOS SÍNTOMAS	HUMO DE TABACO	PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN	CONTAMIN. BIOLÓGICA	SUSTANCIAS ORGÁNICAS VOLÁTILES	METALES PESADOS	SÍNDROME DEL EDIF. ENFERMO
RESPIRATORIOS						
Rinitis	X	X	X	X		X
Epistaxis				X		
Faringitis	X	X	X	X		X
Agravación del asma	X	X		X		X
Disnea	X		X			X
Lesión pulmonar			X			X
OTROS						
Conjuntivitis	X	X	X	X		X
Cefalea	X	X	X	X	X	X
Letargia, fatiga		X	X	X	X	X
Náuseas, anorexia		X	X	X	X	
Alteraciones psíquicas		X		X	X	X
Dermatitis			X	X	X	
Fiebre, escalofríos			X		X	
Taquicardia		X			X	
Hemorragia retiniana		X				
Mialgia				X		X
Pérdida de audición				X		

Fuente: EPA

❖ Medida de la contaminación atmosférica.

➤ Principios generales. Clasificación de las técnicas de medida.

En un primer intento de clasificación podemos diferenciar entre las técnicas aplicables a la evaluación de los niveles de inmisión y las destinadas a la medida de las emisiones.

Por otra parte, en función del mecanismo de muestreo y el procedimiento fisicoquímico de análisis, se puede distinguir cuatro métodos de medida básicos:

- ✓ Pasivos. Están basados en el uso de captadores de difusión. En estos captadores el contaminante es fijado selectivamente por un material absorbente que posteriormente, es estudiado usando técnicas analíticas convencionales.
- ✓ Manuales. Utilizan un procedimiento mecánico, habitualmente una bomba neumática, para la captación de aire, mientras que el análisis químico se realiza por procedimientos manuales.
- ✓ Automatizados. En éstos, tanto el proceso de captación como el análisis, se efectúan de manera automatizada. Generalmente realizan medidas en continuo.
- ✓ Medición a distancia. Emplean procedimientos físicos basados en propiedades ópticas de la materia contaminante. Entre estos se hallan algunos sistemas muy sofisticados para la medida de la contaminación atmosférica por satélite.

➤ Medida de la calidad de aire (inmisiones).

- ✓ Determinación de las inmisiones reguladas por la normativa europea.

CONTAMINANTES REGULADOS POR LA NORMATIVA VIGENTE Y MÉTODOS ANALÍTICOS RECOMENDADOS		
Contaminante	Método manual	Método automatizado
Partículas sedimentables	• Gravimetría (<i>standard gauge</i>)	• Espectrofotometría (Griess-Saltzman)
Partículas en suspensión (PM ₁₀)	• Gravimetría EN 12 341:1998 • Humo normalizado (OCDE) ISO 9 835:1993 (UNE 77 231:1997)	• Absorción de la radiación β ISO/FDIS 10 473 (proyecto de norma)
Óxidos de azufre (SO _x)	• Espectrofotometría (pararosanilina) ISO 6 767:1990 (UNE 77 234:1998)	• Fluorescencia UV ISO/FDIS 10 498 (proyecto de norma)
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	• Espectrofotometría (Griess-Saltzman) ISO 6 768:1985	• Quimioluminiscencia ISO 7 996:1985
Ozono		• Absorción ultravioleta ISO 13 964:1998 (UNE 77 221:2000)
Plomo	• Absorción atómica ISO 9 855:1993 (UNE 77 230:1998)	• Absorción ultravioleta ISO 13 964:1998 (UNE 77 221:2000)

Así mismo se proponen otros contaminantes que deberían ser incluidos en una segunda fase de control. Este segundo grupo de contaminantes lo conforman los siguientes elementos compuestos:

- Benceno
- Monóxido de carbono
- Hidrocarburos policíclicos aromáticos.
- Cadmio
- Arsénico
- Níquel
- Mercurio

➤ Materia particulada.

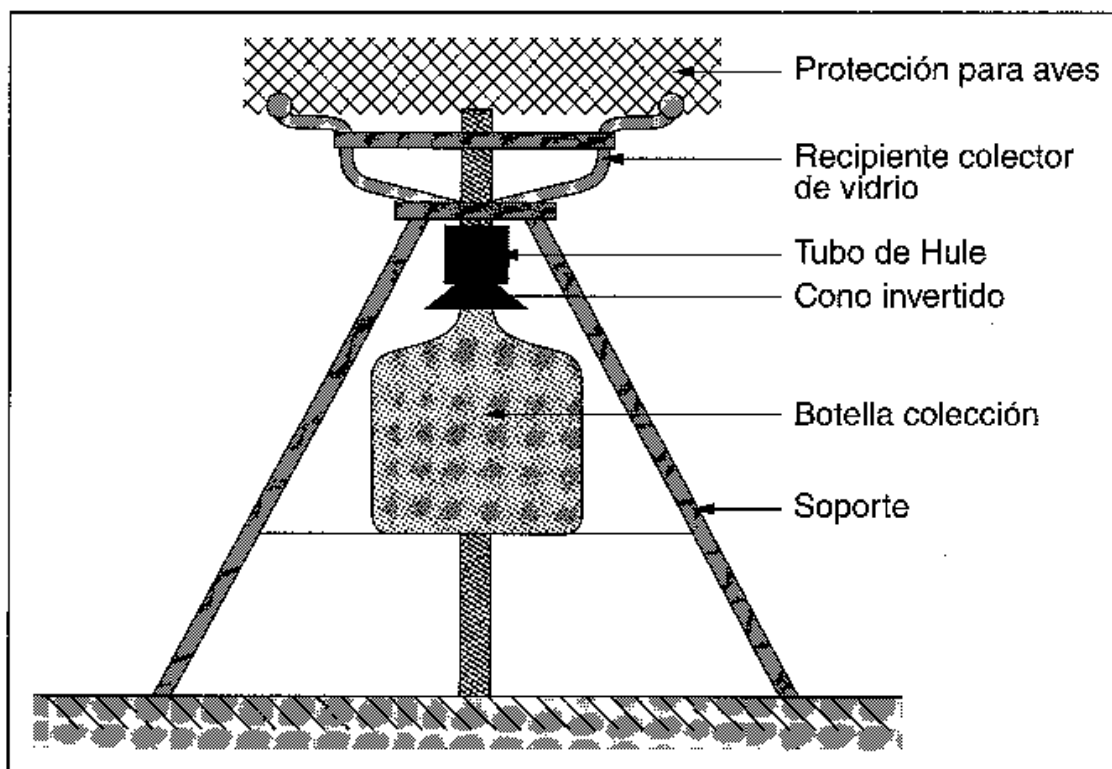
Siguiendo la clasificación tradicional de las partículas, que subdivide a éstas en gruesas (sedimentables) y finas (en suspensión o PM₁₀), se pueden diferenciar dos grupos de métodos:

- a) Determinación de las partículas sedimentables mediante un captador estándar de sedimentación (standard gauge).
- b) Determinación de las partículas en suspensión mediante:
 - Método gravimétrico
 - Método del humo normalizado (OCDE)
 - método automático de absorción de la radiación beta.

87

- a) Determinación de las partículas sedimentables.

Las partículas sedimentables se recogen pasivamente en un depósito colector.



Colector para partículas sedimentables.

Recogida de la muestra:

Se basa en el uso de un captador normalizado constituido por un depósito colector, o embudo, de vidrio o acero inoxidable de 315 mm de diámetro, dispuesto sobre un trípode de 1,35 m de altura. En la parte superior y rodeando la boca del depósito

colector, se sitúa una rejilla de 25mm de malla para evitar la entrada de insectos, hojas... y en su parte inferior un frasco colector de vidrio o plástico (10 a 20 litros de capacidad) que sirve para recoger las partículas.

Este captador se sitúa en un espacio abierto alejado de edificios, arboles, etc. Al menos a una distancia doble a la altura del objeto que interfiere. El periodo de recogida de muestra es habitualmente de un mes.

Para recoger la muestra, se debe efectuar un lavado con agua destilada del depósito colector, que permitirá arrastrar hacia el frasco colector las partículas adheridas. Una vez la muestra se ha trasladado al laboratorio se procede a separar las partículas groseras (hojas, piedras, insectos,...) mediante el uso de una tela metálica o tamiz.

Valoración:

Una vez homogeneizada la muestra, el líquido se filtra usando un filtro de papel previamente tarado. El objeto de la filtración es separar las partículas insolubles, que quedan retenidas en el filtro, de las solubles que quedan en el filtro. Una vez seco (en estufa a 100 °C) el filtro se pesa; descontando la tara del filtro se obtiene la masa de partículas solubles. Para determinar la porción soluble se toma una parte alícuota del filtrado y se somete a evaporación usando una capsula cerámica de peso conocido; la diferencia entre el peso obtenido tras el secado y el original de la capsula, nos da la masa de partículas solubles.

La masa total de partículas sedimentables o residuos (R) será la suma de los dos valores anteriores. Para calcular la deposición de partículas sedimentables totales (PST), expresada en mg/m² y día, se utiliza la siguiente fórmula:

$$PST = RF/d$$

Donde **F** es un factor constante dependiendo del embudo y **d** es el número de días que ha estado instalado el captador.

b) Determinación de partículas en suspensión.

- Método gravimétrico:

Las partículas suspendidas en el aire se recogen haciendo pasar un volumen conocido de aire, a través de un filtro de fibra de vidrio que retiene las partículas de tamaño superior a $0,1\ \mu\text{m}$.

Recogida de la muestra:

Se requiere el uso de **un captador de alto volumen**. Este dispositivo consta esencialmente de un conjunto de aspiración (motobomba de vacío) con caudal comprendido entre 40 y 50 m^3/h , un gasómetro (contador de caudal) con graduación hasta 60 m^3/h y un porta-filtro de forma troncocónica con una malla metálica en la base mayor donde se deposita el filtro (120 mm de diámetro).

Este equipo debe situarse de manera que, entre el plano del filtro y el del terreno, exista una distancia de al menos 2 m. En su horizontal no debe existir ningún obstáculo a menos de 1 m. El periodo de muestreo suele ser de 24 h.

El filtro se pesa antes de la captación. Deben usarse pinzas y guantes para evitar cualquier interferencia en la determinación.

Transcurrido el periodo de muestreo, el filtro se pesa en la balanza de precisión. La diferencia entre el peso y la tara del filtro representa la masa de partículas contenidas en el volumen que ha pasado durante las 24 h. Este peso expresado en μg dividido por el volumen de aire nos da el resultado final (expresado en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

- Método del humo normalizado (OCDE)

El aire se hace pasar a través de un filtro donde se depositan las partículas. Las partículas carbonosas negras (humo y hollín) originan en el filtro una mancha grisácea, cuya opacidad se puede determinar por reflectometría. Conocido el volumen de aire que ha atravesado el filtro, la concentración superficial de la mancha (expresada en μg de humo por cm^2) se puede convertir en concentración de partículas de suspensión (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$), usando las tablas de equivalencia obtenidas experimentalmente por los expertos de la OCDE.

Recogida de muestra:

La toma de muestra se realiza mediante un **captador de pequeño volumen**. Este aparato, similar en esencia al de alto volumen, está constituido por una bomba de aspiración con un flujo de 2 a 4 m³/día, un contador caudal, un porta-filtros de 2 pulgadas (aproximadamente 5 cm) de diámetro y un borboteador (una especie de frasco lavador de vidrio) cuya función es la de captación de gases por absorción en un medio líquido. El captador de pequeño volumen permite la recogida simultánea de partículas en suspensión y de un gas (o varios gases si dispone de más de un borboteador).

La aspiración del aire ambiente se realiza mediante un embudo de 3 a 5 m. la altura de aspiración al suelo debe ser de 3 m, y la distancia horizontal a cualquier obstáculo superior a 0,5 m. El período de muestreo es habitualmente de 24h.

Una vez efectuada la toma de muestreo se extrae el filtro, habitualmente un filtro de papel Whatman nº 1, y se realiza la lectura en el reflectómetro previamente calibrado. Mediante el uso de tablas de reflectancia normalizadas se obtiene la concentración superficial de humo (S) en µg de humo por cm². La concentración de partículas en suspensión (PS) se calcula mediante la aplicación de la formula:

$$PS = 0,92 \cdot \frac{S \cdot A}{V}$$

Donde A es la superficie de la mancha y V el volumen de aire aspirado en m³. El resultado final se expresa en µg/m³.

- Método de absorción de las radiaciones beta.

Este método se basa en la absorción parcial de la radiación beta emitida por una fuente radiactiva estable. Las partículas arrastradas por la muestra de

aire son retenidas en un filtro de papel dispuesto sobre un tambor rotatorio que se desplaza a intervalos de tiempo controlados automáticamente. El filtro es expuesto a la radiación por una cara, mientras que en la otra se dispone de un contador de ionización (Geiger-Muller) que afecta un conteo de impulsos.

La diferencia entre la absorción del papel limpio y la detectada tras haber sido expuesto a la muestra es la base del cálculo de la masa de partículas depositadas en el filtro. La velocidad de rotación y el caudal de la bomba de impulsión permiten establecer la concentración final de partículas en suspensión por metro cúbico.

➤ Óxidos de azufre.

Se describen dos técnicas: el método espectrofotométrico de la pararosoanilina y el método automático de fluorescencia UV.

- Método espectrofotométrico de la pararosoanilina.

El dióxido de azufre se absorbe mediante borboteo en un captador de pequeño volumen usando una disolución de tetracloromercuriato sódico (TCM). La reacción origina un complejo de diclorosulfitomercuriato.

La solución obtenida se hace reaccionar en el laboratorio con formaldehído y clorhidrato de pararosoanilina originándose el ácido pararosanilín metil sulfónico de coloración rosada muy intensa. La concentración del SO_2 , se calcula espectrofotométricamente a partir de la coloración obtenida en la reacción, usando una curva de calibración preparada previamente con patrones de metabisulfito sódico.

- Detector automático de fluorescencia UV.

Las moléculas de dióxido de azufre expuestas a una radiación ultra violeta (UV) de 216 nm, sufren una excitación electrónica que se transforma en emisión de radiaciones fluorescentes, cuando las moléculas retornan a su estado normal no excitado.

La muestra de aire se introduce de manera continua en una cámara de reacción donde es irradiada por la luz UV procedente de una lámpara de Xe. La radiación fluorescente emitida por las moléculas irradiadas es amplificada en un tubo fotomultiplicador y posteriormente procesada mediante un sistema computarizado que realiza al instante el cálculo de la concentración.

➤ Óxidos de nitrógeno.

- Método espectrofotométrico de Griess-Saltzman.

Los óxidos de nitrógeno son recogidos por borboteo usando un captador de bajo volumen modificado que dispone de una lámpara de ozonización cuyo objetivo es transformar el NO en NO₂.

El NO₂ se absorbe en una solución de trietanolamina (*es un liquido incoloro, viscoso, soluble en agua, obtenido por la reacción de óxido de etileno con el amoniaco*) y posteriormente se valora usando un método espectrofotométrico basado en la reacción de Griess-Saltzman (en esta reacción se origina una sal de diazonio de color púrpura).

- Método automático de quimioluminiscencia.

La quimioluminiscencia es la emisión de radiación electromagnética ($h\nu$) que presentan algunas moléculas en estado excitado originadas por una reacción química. La reacción del monóxido de nitrógeno con el ozono origina dióxido de nitrógeno excitado que muestra esta propiedad de quimioluminiscencia emitiendo

luz visible e infrarroja. Este método requiere que el NO_2 del aire se convierta previamente en NO ; para ello, la muestra de aire aspirada pasa por un convertidor catalítico. El ozono se produce en un ozonizador interno de manera que se genera un caudal constante, que es introducido junto con la muestra en la cámara de reacción. La radiación generada en el proceso es amplificada por un fotomultiplicador y convertida a medida de concentración por un sistema computarizado.

➤ Ozono.

No existen métodos manuales estandarizados.

- Método automatizado de absorción de radiación UV.

El ozono absorbe radiación en la banda denominada región de Hartley y Huggins (longitudes de onda cercanas a 250nm). En este método la muestra de aire se divide en dos submuestras: una de ellas es tratada en un catalizador para eliminar el ozono presente actuando como referencia, la otra pasa directamente a la cámara de medida. Ambas submuestras son irradiadas con un haz de UV y la absorción determinada mediante fotomultiplicadores.

La absorción diferencial entre la celda de referencia y la de medida es calculada por el ordenador, que finalmente ofrece la medida de concentración en ppm.

➤ Plomo.

- Método de absorción atómica.

El aire se hace pasar por un filtro similar a los usados en la determinación de partículas en suspensión, utilizando para ello un captador de pequeño volumen. El periodo de muestreo habitual es de 24 horas.

El filtro es posteriormente atacado por una mezcla de ácidos obteniéndose una disolución, de la cual, tras disolución, se obtiene una parte alícuota que es llevada a análisis en un espectrofotómetro de absorción atómica, registrándose la señal

obtenida a 283,3 nm. La concentración final se determina interpolando el valor obtenido en una curva de calibrado que debe haber sido previamente calculada

TECNICAS DE MEDIDA DE LA CONTAMINACION BIOLOGICA.

El estudio de los bioaerosoles se realiza mediante su aislamiento del aire y recogida en medios específicos para su posterior identificación microscópica y/o recuento, usando las técnicas estándar de la microbiología (bacterias y hongos) o la palinología (pólenes y esporas).

Con independencia del protocolo de análisis utilizado, se requiere el uso de captadores especialmente diseñados para el aislamiento de estas partículas biológicas microscópicas.

➤ Principio físicos de los captadores aerobiológicos.

Los métodos de captación pueden ser pasivos o activos. Los métodos pasivos se basan en la deposición por gravedad (captador gravimétrico) o el impacto de las partículas (captador pasivo de impacto) sobre una superficie adhesiva o medio de cultivo.

Los sistemas de captación activa usan una bomba de succión del aire (captadores de succión) o un sistema rotativo de impacto (captador Rotorod). Estos captadores permiten el control del flujo del aire muestreado, por lo que suelen ser denominados captadores volumétricos.

Dentro de los captadores volumétricos existen numerosas variantes, adaptadas para diversos tipos de partículas; los métodos físicos más corrientes usados en estos captadores son:

- ✓ Impacto. El aire succionado se dirige sobre la superficie de un medio que retiene las partículas; para ello, se usa una rejilla de pequeños orificios, cedazo, o bien una ranura debajo de la cual se hace girar el medio de cultivo, para permitir la distribución uniforme de las partículas sobre la placa. Si se necesita realizar un estudio de microorganismos viables se utilizan placas Petri con medios de cultivos sólidos específicos para el organismo que se desea aislar, Algunos captadores de impacto permiten el aislamiento de partículas de diferentes tamaño usando un sistema de varios filtros; estos sistemas son denominados captadores de impacto en cascada.

- ✓ **Filtración.** La filtración es un sistema muy utilizado en microbiología. Consiste en forzar el peso del aire por un filtro de muy pequeño tamaño de poro que posteriormente es llevado a incubación sobre un medio de cultivo. También existen sistemas de filtración diseñados para pólenes.
- ✓ **Trampa líquida.** Estos captadores usan un recipiente de vidrio que contiene una cierta cantidad de líquido. El aire penetra en la botella a través de un tubo de pequeño diámetro borboteando en el líquido o impactando en su superficie. Los captadores de trampa líquida son usados en microbiología y en los estudios atmosféricos de materia particulada de muy pequeño tamaño, como los núcleos de Aitken.

95

La siguiente tabla resume los diversos tipos de captadores aerobiológicos con referencia a los modelos comerciales más corrientemente usados.

CAPTADORES AEROBIOLÓGICOS	
PASIVOS	ACTIVOS (volumétricos)
• Gravimétricos (sedimentación) – Tauber – Durham • Impacto – Cour	• Succión • Impacto – Hirst – Andersen (en cascada) • Filtración – Staplex • Trampa líquida – SKC Biosampler • Rotativos de impacto – Rotorod

➤ Captadores de uso más habitual.

- Captador de Andersen en cascada.

Es un captador de succión con impacto de tipo cedazo que dispone de hasta seis niveles, constituidos por una rejilla situada sobre una placa Petri con medio de cultivo estéril. Cada rejilla presenta numerosos orificios cuyo diámetro se va reduciendo a medida que se baja de nivel.

El flujo del aire es de unos 28 l/min. Penetrando por los orificios de las rejillas de manera que en el nivel superior se depositan las partículas de mayor tamaño y en el último las de diámetro inferior.

Este captador está considerado el más apropiado para la recolección de organismos viables sobre medio sólido. Es muy selectivo y permite utilizar diferentes medios de cultivo en cada etapa de muestreo.



- Captador Rotorod.

Está constituido por un sistema rotatorio que presenta dos bastones verticales de tres cm de longitud sobre los que se insertan unas tiras de material adhesivo.

El sistema está alimentado por baterías y gira a unas 2 500 rpm.

Existe una variante que sustituye las tiras adhesivas por porta-objetos impregnados en grasa de silicona.

Este captador es muy utilizado en EE.UU. para los estudios palinológicos. Algunos modelos han sido también adaptados para el cultivo de microorganismos.



- Captador Hirst.

Es un dispositivo de succión que impulsa el aire con un caudal de 10 l/min. A través de un orificio de manera que impacte sobre una cinta adhesiva montada sobre un tambor rotatorio que gira a razón de 2 mm por hora. Una veleta dispuesta en su parte superior mantiene la boca de entrada orientada hacia el aire.

Una vez retirada la cinta, se corta en trozos que se montan sobre porta-objetos para su estudio microscópico d los pólenes. Los modelos comerciales actualmente disponibles son el fabricado por Burkard manufacturing Co. (Reino Unido) y el de Lanzoni S.R.L. (Italia).



➤ Captadores pasivos de difusión.

Los captadores de difusión son dispositivos de muestreo capaces de fijar gases atmosféricos mediante difusión molecular sin que se requiera un movimiento forzado del aire a través del captador. Su estructura habitual es de un tubo que presenta en un extremo un material sorbente capaz de retener el gas a estudiar y un extremo abierto por donde penetra el aire sin necesidad de ninguna bomba u otro medio mecánico de impulsión.

La retención del gas contaminante se realiza selectivamente mediante absorción en un medio poroso o de naturaleza gelatinosa, o bien mediante adsorción sobre la superficie de materiales como sílice, alúmina, espuma de poliuretano, etc. Que están impregnados en una sustancia absorbente.

Estos difusores se exponen al aire ambiente durante períodos de tiempo que varían desde unos días a varias semanas, en función del contaminante a estudiar y del tipo de estudio requerido. Una vez finalizado el periodo de muestreo, el tubo se cierra y es remitido a los laboratorios para su análisis. Existen difusores para diversos contaminantes atmosféricos, entre ellos: NO₂, SO₂, O₃, CO y benceno. Las técnicas de análisis de estos contaminantes no difieren sustancialmente de las usadas habitualmente en los sistemas manuales: espectrofotometría y cromatografía (benceno).

La principal aplicación de los difusores pasivos es la elaboración de mapas de contaminación urbana o regional. El relativo bajo coste económico de estos dispositivos permite el estudio de grandes áreas.



➤ Medida de la contaminación del aire en interiores.

La medida de la calidad del aire en interiores ha sido tradicionalmente empleada en el ambiente laboral como evaluación de la exposición a los diversos contaminantes que pueden generarse como consecuencia de las numerosas actividades en las que se producen o manejan sustancias tóxicas o nocivas capaces de ser vehiculadas por vía aérea. Junto a esta aplicación primaria, regulada por las normativas de salud y higiene laboral, hay que destacar el interés más reciente en el control de la calidad del aire de edificios y viviendas derivado de nuestro conocimiento actual de la importancia de la contaminación química y biológica de los hábitats humanos y sus repercusiones sobre la salud.

En función de las diversas normativas y de la naturaleza del estudio pueden realizarse medidas de corta y larga exposición, siendo habitual que los límites máximos de esta exposición sean referidos a periodos laborales de 8 horas/día o 40 h/semana.

Los métodos de captación y analíticos no difieren sustancialmente de los usados en las medidas de contaminación exterior aunque han sido lógicamente adaptados a las peculiaridades del ambiente interior. En el caso de contaminantes químicos se pueden destacar los siguientes métodos:

- Filtración. Usado para la determinación de materia particulada. Se usan captadores de pequeño volumen o captadores personales de pequeño tamaño. En ambos casos se pueden incorporar una cámara de borboteo para absorción de gases. La determinación de la concentración se realiza por los métodos convencionales previstamente descritos.
- Absorción por borboteo. Consiste en la absorción del gas en un medio líquido mediante un sistema activo de succión que impulsa el aire a través del líquido absorbente. El contaminante es analizado por métodos espectrofotométricos y otras técnicas analíticas estándar.
- Tubos de captación pasiva. Son tubos que contienen un material absorbente capaz de retener el contaminante a estudiar. Se basan en el uso de absorbentes o adsorbentes impregnados en una sustancia absorbente. Una

vez expuestos al aire contaminado son procesados en el laboratorio para la determinación de la concentración del contaminante.

- Tubos de reacción química. Similar a los anteriores en cuanto al proceso de captación permiten la determinación instantánea de la concentración del contaminante mediante un sistema de viraje del color. Son conocidos también bajo la denominación de tubos colorimétricos.
- Detectores electrónicos portátiles. Son dispositivos de medida instantánea basados en el uso de sensores electroquímicos acoplados a un sistema electrónico digital. Existen numerosas variantes comerciales aunque su formato más habitual consiste en un cuerpo de pequeño tamaño al que pueden acoplarse diversas células sensoras. En la actualidad permiten la detección de un amplio número de sustancias (algunas casas comerciales ofrecen un catálogo de más de 50 sensores) con una sensibilidad de medida del orden de ppm.
- Medidores ópticos para materia particulada. Dispositivos electrónicos portátiles que usan tecnología laser para detección de materia particulada en suspensión para diversos rangos de diámetro aerodinámico de partícula.

➤ Bioindicadores de contaminación.

Los estudios de biomonitorización son necesarios para establecer los valores guía, o niveles de inmisión a partir de los cuales comienzan a aparecer los primeros signos de alteración ecológica.

La biomonitorización se realiza mediante el estudio de Bioindicadores es decir, seres vivos que por sus características muestran una sensibilidad particular a ciertos contaminantes atmosféricos o tienen tendencia a acumular los contaminantes en sus tejidos. Los métodos biológicos de monitorización ofrecen información sobre el nivel de toxicidad de los contaminantes a nivel celular, lesiones del tejido nervioso de los animales, signos de estrés en los animales y en las plantas, reacciones sinérgicas y antagónicas de los contaminantes, etc. Algunos autores distinguen los términos de bioindicador como término genérico y biomonitor para referirse al indicador bioacumulativo, es decir, aquel ser vivo que tiende a acumular en su

organismo algún contaminante con independencia de que manifieste signos externos de afectación.

MEDIDA DE EMISIONES.

En esencia los procesos analíticos usados para la medida de emisiones son idénticos a los previamente comentados al referirnos al control de inmisiones. Sin embargo, los sistemas de muestreo difieren notablemente, con múltiples metodologías en función de la naturaleza de la fuente emisora y del contaminante emitido.

En el caso de las fuentes fijas de tipo puntual (ej. La salida de una chimenea) el procedimiento más habitual consiste en el muestreo isocinético que se realiza mediante la introducción en el punto de emisión de una sonda, sonda isocinética, que obtiene una muestra de los gases y partículas con el mismo flujo de extracción que el de emisión, lo que asegura la exactitud de los resultados. El elemento básico de este sistema es un tubo en forma de S denominado Pitot que se dispone paralelo a la dirección del flujo de emisión y permite medir la presión y velocidad de salida del gas. Mediante el uso de sensores de presión y temperatura, el sistema determina la fuerza de succión adecuada para mantener un flujo de extracción proporcional al de salida. La muestra así obtenida puede ser enviada a un sistema de filtros y borboteadores para su posterior análisis o bien analizada en continuo mediante analizadores automáticos.

Para condiciones extremas de emisión, como las altas temperaturas, existen algunas variantes del sistema anterior que efectúan una dilución del gas de salida con aire fresco, manteniendo las condiciones isocinéticas de muestreo.

Los métodos de muestreo para fuentes lineales y de área (ej. Vertederos, carreteras, zonas industriales) incluyen el uso de muestreadores de superficie como bombas captadoras de alto volumen y sistemas electrónicos de detección distribuidos por la zona de estudio. Cuando el área a estudiar es muy amplia, se ha recurrido al uso de muestreadores situados en altura mediante la utilización de globos sonda e incluso helicópteros.

RED NACIONAL DE VIGILANCIA Y PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: (RNVPCA).

En España la **RNVPCA** se creó con tal denominación a partir de la entrada en vigor de la ley de Protección del Medio Ambiente Atmosférico (Ley 38/1972, de 22 de diciembre, desarrollada mediante el Decreto 833/1975, de 6 de febrero y completada por la orden de 18 de octubre de 1976), aunque desde la década de 1960 la escuela nacional de Sanidad ya venía realizando estudios de contaminación atmosférica dentro del marco legislativo del reglamento de actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas de 1961 (BOE número 292, de 7 de diciembre).

La RNVPCA está constituida básicamente por un conjunto de estaciones de medida dependientes de las administraciones locales y autonómicas, que a través de un sistema telemático suministra información a los gestores de dicha red. A nivel regional esta red se integra en el programa **EMEP** (*European Monitoring Evaluation Programme*) que surge del Convenio de Ginebra sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Gran Distancia. Igualmente se integra en la red **BAP-MoN** (*background Air pollution Monitoring Network*) del programa para la Vigilancia de la Atmósfera Global, de la organización Meteorológica Mundial (OMM).

En el 2001, la gestión y explotación de la RNVPCA es llevada a cabo conjuntamente por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) y el Ministerio de Sanidad y Consumo (MSC). Por parte del primero se encarga el Instituto Nacional de Meteorología y la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, mientras que por parte del Ministerio de Sanidad y Consumo esta tarea ha sido encomendada al Instituto de Salud de Carlos III.

Aunque todavía existe un cierto número de estaciones manuales, la tendencia actual es hacia la automatización de toda la red mediante el uso de medidores permanentes (en continuo) que envían periódicamente sus mediciones, sin necesidad de intervención humana, a un sistema informático centralizado.

En su mayor parte estas estaciones transmiten datos relativos a concentración de SO₂, NO_x, partículas y O₃, existiendo otras estaciones más especializadas que pueden medir hidrocarburos, Pb, amoníaco, flúor, etc. Algunas estaciones registran además parámetros meteorológicos como temperatura, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica, humedad relativa, precipitación y radiación solar.

En el inventario de estaciones publicado en 1992 por el Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente existían en España 1103 estaciones.

El Ministerio de Medio Ambiente gestiona, a su vez la red costera del Programa CAMP (*Comprehensive Atmospheric Monitoring Programme*) para medir contaminantes atmosféricos que afectan al Océano Atlántico. Aunque el MMA coordina y custodia la red, las mediciones y verificaciones también las realiza el Instituto de Salud Carlos III.

De forma paralela España participa en diversas redes internacionales de control de la contaminación atmosférica.

Desde 1976, el Instituto de Salud Carlos III es un centro colaborador de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la vigilancia de la contaminación atmosférica urbana; desde 1984, España forma parte de las anteriormente mencionadas red europea de control EMEP (*European Monitoring and Evaluation Programme*) y de la red mundial de contaminación de fondo BAPMoN (*Background Air Pollution Monitoring*) con 6 estaciones, en la actualidad son 10 estaciones, a las que pronto se sumarán otras que ya están en proyecto.

Además de estas redes nacionales e internacionales, existen redes autonómicas y municipales de vigilancia atmosférica, concretamente para los municipios con más de 50 000 habitantes, ya que todos ellos tienen competencias ambientales.



MODULO IV: CONTAMINACIÓN POR FUENTES DE ENERGÍA.

Este cuarto bloque temático se dedica al estudio de la contaminación por fuentes de energía, básicamente a la radiación acústica y a las radiaciones ionizantes y no ionizantes.

La agrupación de ambas fuentes de contaminación en un mismo bloque se justifica porque ambas modalidades de contaminación se producen por transferencia de energía. En un sentido amplio se define la radiación como un proceso por el cual se emite una energía que se propaga en el espacio por un determinado medio o bien a la propia energía envuelta en dicho proceso. Esta definición general abarca al mismo tiempo a conceptos físicos tan distintos como las radiaciones ionizantes y no ionizantes o el propio sonido, que con toda propiedad puede denominarse como radiación acústica.

La contaminación por radiaciones, ya sea acústica o de otro tipo, puede provocar múltiples y variados efectos sobre las personas, cuya repercusión en términos de salud, daños al medio ambiente y pérdidas económicas se considera elevada, aunque resulta difícil de cuantificar. Sólo en el caso del ruido ambiental y para el conjunto de la Unión Europea, según documentos del Parlamento y el Consejo europeos, se estima entre 13 000 y 38 000 millones de euros.

- ✓ Contaminación Acústica.
- ✓ Contaminación por Radiaciones.

❖ **Contaminación Acústica.**

El ruido es una de las perturbaciones ambientales que más afecta a la calidad de vida de las zonas habitadas. Aunque existen antecedentes históricos tan antiguos como las ordenanzas municipales de la ciudad de Berna (suiza), dictadas en el siglo XV, que prohibían el tránsito de carreteras en mal estado para evitar el escaso de ruido, el problema de la contaminación acústica ha alcanzado dimensiones preocupantes para la salud humana a raíz de la industrialización y el incremento de los medios de transporte a lo largo del siglo XX.

El ruido provocado por el tráfico rodado constituye la principal fuente de contaminación acústica, tanto en los ámbitos urbanos como interurbanos, aunque especialmente lo es en la ciudad. Por ello se han desarrollado modelos de predicción de ruido del ruido para poder prever los niveles sonoros que producirán las nuevas calles y carreteras o los desdoblamientos o modificaciones de las ya existentes. La finalidad de estos modelos es conocer previamente el futuro impacto acústico y adoptar, durante la fase de proyecto, las medidas correctoras precisas.

Entre los modelos de predicción acústica cabe destacar los estándares de Alemania, estados Unidos, Países nórdicos y Reino Unido.

➤ Efectos de la contaminación acústica sobre la salud humana.

Aunque el impacto más evidente de la contaminación acústica sobre la salud humana es la afectación del aparato auditivo, se han hallado otros numerosos efectos sobre diversos aparatos y sistemas orgánicos, incluyendo alteraciones psicológicas y conductuales.

Diversos organismos han evaluado estos efectos, llegando a conclusiones similares en cuanto a los niveles de presión acústica que pueden ser dañinos para la salud. En las siguientes tablas se ofrece un resumen de estos valores.

EFECTOS DETECTADOS EN LA POBLACIÓN PARA DIVERSOS NIVELES DE PRESIÓN ACÚSTICA	
Nivel de presión acústica dB(A)	Efectos detectados
≥ 55	Falta de confort. Sueño alterado con ventanas abiertas.
≥ 60	Sueño y conversación alterados con ventanas abiertas.
≥ 65	Nivel máximo de aceptabilidad. Sueño y conversación alterados con ventanas cerradas.
≥ 70	Nivel de protesta. Sueño y conversación muy alterados.
≥ 75	Posible pérdida de audición a largo plazo.

Fuente: OCDE.

NIVELES DE PRESIÓN ACÚSTICA MÁXIMOS RECOMENDABLES	
Ambiente	Nivel de presión acústica dB(A)
Laboral (exposición 8 h)	75
Doméstico (exposición 24 h)	45
Dormitorio - Nocturno	35
Exterior - Diurno	55
Exterior - Nocturno	45

Fuente: OMS.

NIVELES DE PRESIÓN ACÚSTICA A LOS CUALES PUEDE PRODUCIRSE PÉRDIDA DE AUDICIÓN POR EXPOSICIÓN CONTINUADA DURANTE 40 AÑOS	
Nivel Equivalente L_{eq} en dB(A)	Tiempo diario de exposición
75	8 horas
78	4 horas
81	2 horas
84	1 hora

Fuente: EPA.

Las principales alteraciones observadas en relación a la exposición del ruido son:

- ✓ Efectos sobre el aparato auditivo.
- ✓ Efectos fisiológicos y psicológicos.
- ✓ Perturbaciones de actividades habituales.

✓ Efectos sobre el aparato auditivo.

Podemos diferenciar dos grupos de alteraciones, las agudas y las crónicas.

- Alteraciones Agudas.

Las más frecuentes se producen cuando el nivel de presión sonora supera los 80 dB, que para algunas personas representa el punto donde comienzan a aparecer manifestaciones de incomodidad. A los 100 dB prácticamente todos los seres humanos muestran signos de molestia, que alcanzan el nivel de dolor cuando la presión acústica se eleva hasta los 120 dB. Tras una exposición corta a estos niveles se puede producir *tinnitus*, que son ruidos o zumbidos en el oído, si se alcanzan niveles de 140 dB es muy probable la aparición de lesiones auditivas irreversibles.

Las lesiones anatómicas más graves detectadas por exposición aguda a ruidos de alta intensidad son: la rotura de la membrana timpánica, la lesión de los huesos del oído medio y la degeneración de las células ciliadas del órgano de Corti. Estas lesiones son más frecuentes cuando el nivel de presión sonora se eleva por encima de 140 dB; siendo necesaria tan sólo una exposición mayor de 160 dB durante 5 ms para que se origine la lesión, como en los casos de exposiciones o ruidos de impacto similares.

A pesar de que no se produzca una lesión inmediata, o al menos esta no sea observable anatómicamente, la exposición a niveles muy elevado de ruido como en las discotecas provoca el llamado **desplazamiento temporal del umbral de la audición. (DTUA)**. Este fenómeno consiste en una disminución de la sensibilidad auditiva en comparación con el comportamiento normal del oído humano sano.

El desplazamiento temporal suele desaparecer cuando el individuo retorna a un ambiente silencioso, aunque el periodo de recuperación oscila, según la idiosincrasia personal y el grado de exposición, entre horas y días.

La repetición de traumatismos agudos del oído que conlleven un DTUA puede conducir a más largo plazo a un desplazamiento permanente, siendo esta una de las explicaciones de la pérdida crónica de audición en el ambiente laboral.

- Alteraciones crónicas.

La alteración crónica más frecuente asociada a la exposición al ruido es la pérdida de audición. Aunque existen variaciones individuales y sociales de la sensibilidad auditiva, se admite habitualmente la existencia de una sensibilidad media que ha quedado establecida como referencia por la misma ISO 8253 (1989) que establece el estándar audiométrico.

La sordera o pérdida de audición crónica se determina por la elevación del umbral auditivo, o nivel de audición, por encima del establecido por la norma. Habitualmente se entiende que existe pérdida significativa de audición cuando hay dificultad para entender el habla humana a los niveles de conversación de medios (55 dB). Desde el punto de vista audiométrico esta pérdida se manifiesta como incremento del umbral auditivo en más de 30 dB para las frecuencias de 1, 2 o 4 KHz.

La pérdida de audición inducida por el ruido puede ser enmascarada por otras alteraciones similares: la presbiacusia (deterioro auditivo asociado a la edad) y la socioacusia (es la reducción de la sensibilidad auditiva como consecuencia de los factores ambientales de la vida en sociedad, asociados habitualmente a la vida urbana).

Las medidas audiométricas tienen en consideración ambas circunstancias, de forma que la determinación del grado de pérdida de audición se realiza considerando tanto la edad del individuo, como las correcciones adecuadas para el entorno social donde se efectúa la medición.

El mecanismo fundamental propuesto para la aparición de la sordera es el desplazamiento permanente del umbral auditivo (DPUA). A diferencia del desplazamiento temporal, el DPUA no es reversible y se caracteriza por ser bilateral y simétrico (elevación del umbral similar en ambos oídos). Anatómicamente se observa una lesión de las células ciliadas en el órgano de Corti, que se manifiesta especialmente en las frecuencias más altas (típicamente la sensibilidad auditiva está muy reducida para frecuencias de 4 o más KHz). La sordera es sensitiva y no afecta a los mecanismos de conducción aérea del sonido (tímpano, cadena ósea).

La aparición del DPUA se relaciona con la acumulación del estrés auditivo y su velocidad de instauración se da en función de la duración e intensidad de los ruidos soportados a lo largo de la vida por el individuo.

Adicionalmente, se ha demostrado que la exposición a ciertos fármacos (antibióticos amino-glucosídicos como la estreptomicina y la gentamicina, algunos diuréticos, salicilatos o el antineoplásico cis-platino) y a determinadas sustancias tóxicas (solventes orgánicos y metales pesados) ejerce un efecto sinérgico con el ruido, incrementando la pérdida de audición (ototoxicidad).

111

✓ Efectos fisiológicos y psicológicos.

El ruido se ha relacionado con múltiples efectos que abarcan desde alteraciones cardiovasculares hasta psicosis. Debido a la existencia de numerosos factores de interferencia (edad, estado de salud, tabaquismo, consumo de alcohol, etc.) la mayoría de los estudios realizados indican que las conclusiones deben considerarse provisionales a falta de evidencias concluyentes en muchos de los casos.

La hipótesis más extendida sobre el mecanismo de acción sobre el organismo humano, es la de actuar como factor de estrés inespecífico que activaría las reacciones de defensa biológica. Estas reacciones se manifiestan como estimulación del sistema reticular del cerebro, que a su vez actúa sobre la corteza cerebral y los centros del sistema nervioso vegetativo. Como resultado de esta activación, se pueden producir trastornos perceptivos y cognitivos, secreción hormonal y diversas alteraciones de la fisiología orgánica, influyendo sobre el aparato digestivo y el cardiovascular.

Entre los efectos más frecuentes cabe mencionar.

- Elevación de la presión arterial. La elevación se produce de manera transitoria.
- Alteraciones de la composición sanguínea. En respuesta al estrés acústico el organismo libera catecolaminas, estas sustancias provocan varios efectos orgánicos, entre ellos: vasoconstricción, incremento de la frecuencia cardiaca y respiratoria. Otros estudios han relacionado la elevación del ruido con el

aumento de nivel de colesterol y glucosa en sangre, así como el incremento de la viscosidad sanguínea.

- Variaciones de la respuesta inmunológica. Los estudios realizados relacionan la liberación de cortisol y otras hormonas con alteraciones de la respuesta inmunológica. En los seres humanos se produce, al parecer, una depresión del sistema inmune, con reducción del número de linfocitos circulantes tras una exposición aguda al ruido. No se ha demostrado efectos a largo plazo.
- Reflejo de sobre salto. Ciertos ruidos, en particular los de naturaleza impulsiva, provocan la reacción de sobre salto. Esta reacción se caracteriza por la concentración de algunos músculos (orbiculares de los ojos y músculos flexores de los miembros y columna vertebral), reflejo de orientación (giro de la cabeza en dirección del sonido) y reacciones neurovegetativas como el incremento del riesgo cardíaco y la sudoración. El efecto a largo plazo de las reacciones de sobresalto repetidas es desconocido.
- Efecto sobre el origen del equilibrio. Los altos niveles de presión sonora afectan al órgano del equilibrio. Se ha demostrado que con niveles de 130 dB a los que, con frecuencia, están expuestos los trabajadores de los aeropuertos pueden aparecer nistagmo (movimientos involuntarios rápidos de los ojos), vértigo y pérdidas de equilibrio.
- Perturbación del sueño. El ruido es la causa más corriente de perturbación del sueño. Aunque las reacciones más frecuentemente detectadas son la dificultad para conciliar el sueño o el despertar brusco, existen otras alteraciones de las cuales el individuo no es consciente. Estas reacciones incluyen cambios del nivel de profundidad del sueño, reducciones de los periodos REM, incremento de la actividad corporal, cambios en la respuesta cardio-respiratoria y otros efectos indirectos de la alteración del sueño, como los cambios de humor o el cansancio al levantarse. Los estudios electroencefalográficos (EEG) demuestran que niveles superiores a 35 dB (A) producen alteraciones REM, con niveles entre 45 y 60 dB (A) se producen alteraciones importantes del EEG y con 70 dB (A) es frecuente que el individuo despierte bruscamente. Estos efectos son más manifiestos en personas de edad y durante las primeras horas de la mañana.
- Efectos psicológicos inespecíficos. Algunos estudios han detectado un incremento de las alteraciones psicosomáticas en las poblaciones situadas en la proximidad de aeropuertos. Entre las manifestaciones más características destacan: cefaleas, irritabilidad, ansiedad, anorexia y pérdida de la libido. Por otra parte los estudios epidemiológicos destacan que el consumo de ansiolíticos, sedantes y somníferos es significativamente mayor en estas

poblaciones que en la medida. Aunque no se ha encontrado una relación clara entre enfermedad mental y exposición al ruido, ciertos estudios apuntan a que el ruido podría ser un factor de inducción que contribuiría al inicio de la enfermedad en las personas predispuestas.

✓ **Perturbación de las actividades habituales.**

El ruido puede enmascarar los sonidos y al alterar la comunicación. Este proceso causa efectos que van desde la simple molestia hasta la amenaza grave para la seguridad, cuando el individuo no es capaz de detectar sonidos que alertan sobre un peligro inmediato, como el acercamiento de un automóvil o un tren, una señal acústica de alarma o el ruido producido por el mal funcionamiento de una máquina. El ruido afecta a la conversación y a otros procesos que impliquen comunicación oral, como las actividades escolares. Esta perturbación obliga a alzar la voz con el consiguiente cansancio de las cuerdas vocales y fatiga física.

La interferencia es más marcada cuando las frecuencias del ruido están comprendidas entre 500 y 4000 Hz, rango típico de frecuencia de voz humana. El enmascaramiento producido por el ruido, se determina mediante varios índices como el SIL (*Speech Interferente Level*) o el STI (*Speech Transmission Index*) que toman en consideración las frecuencias de emisión del ruido y las diferentes condiciones acústicas de la sala (medidas, volumen, tiempo de verbalización, etc.)

Además de la interferencia en la comunicación, la exposición mantenida a niveles de ruido elevados causa cansancio, pérdida de atención y disminución del rendimiento escolar y laboral. Sin embargo, estos efectos no se producen en todas las circunstancias: algunos estudios han detectado que, paradójicamente, ciertos sonidos pueden incrementar el estado de alerta del individuo y mejorar incluso su rendimiento. Al parecer, las actividades de índole mecánica o repetitiva se ven poco afectadas por ruidos moderados de tipo continuo, mientras que las actividades intelectuales o que requieren un

alto nivel de concentración pueden verse alteradas por ruidos de baja presión sonora, en especial si son ruidos de impacto o transitorios.

Existen un numeroso grupo de estudios relativos al impacto de la contaminación acústica sobre el comportamiento social. El estado de fatiga, el malhumor tras pasar una “mala noche”, la ansiedad y otros efectos del ruido anteriormente citados, tienen una marcada influencia sobre las relaciones sociales. Se ha demostrado que el ruido es un factor desencadenante de reacciones agresivas, e incluso de violencia física, cuando existe un estado de agresividad, e incluso de violencia física, cuando surge un estado de agresividad o situación hostil previa. Por otra parte la perturbación de las actividades cotidianas inducidas por el ruido, es motivo frecuente de quejas en las comunidades urbanas y frecuentemente determina la elección del punto de residencia, e incluso es el motivo por el que algunas personas deciden cambiar de casa o realizar reformas en su vivienda con objeto de conseguir un mejor aislamiento acústico.

114

➤ Medida de la contaminación acústica:

- ✓ Legislación y normas técnicas.
- ✓ Normas generales de medida de ruido y vibraciones.
- ✓ Procedimiento operativo y valoración de niveles sonoros.
- ✓ Mapas de contaminación acústica.
- ✓ Determinación de los niveles de vibraciones en el ambiente interior.

✓ **Legislación y normas técnicas.**

Con la excepción de un reducido número de Directivas de la Unión Europea sobre emisiones acústicas y homologación de vehículos y maquinaria industrial, no existe una normativa general europea, ni tampoco en España, sobre contaminación acústica ambiental. Con carácter general, las molestias producidas por las actividades ruidosas se consideran incluidas en el Decreto 2414/1961 de 30 de noviembre sobre Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas, mientras aquellas actividades sujetas a Evaluación de Impacto Ambiental, están

específicamente reguladas en los Reales Decretos 1302/86 de 28 de junio y 1131/88 de 30 de septiembre.

En el ámbito laboral es de aplicación el Real Decreto 1316/1989 sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo (BOE 02-11-1989).

Respecto a las emisiones acústicas de los vehículos, son de aplicación los Reglamentos 41 (BOE 19-05-1982) y 51 (BOE 22-06-1983) anejos al Acuerdo de Ginebra de 20 de marzo de 1958, así como el decreto 1439/72 de 25 de mayo (BOE 09-06-1972) en lo que respecta a ciclomotores y tractores agrícolas.

En ausencia de una normativa estatal española, se aplican los reglamentos específicos establecidos por las diversas Comunidades Autónomas y las Ordenanzas Municipales de cada población.

115

PRINCIPALES NORMAS TÉCNICAS DE REFERENCIA SOBRE LAS CONDICIONES ACÚSTICAS	
Norma	Descripción
NBE-CA-88	Norma Básica de la Edificación: Condiciones acústicas de la edificación.
UNE-EN ISO 140-4	Acústica. Medición del aislamiento acústico de los edificios y de los elementos de construcción. Parte 4: Medida <i>in situ</i> del aislamiento acústico al ruido aéreo entre locales.
UNE-EN ISO 717-1	Acústica. Evaluación del aislamiento acústico de los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento al ruido aéreo.
UNE-EN 60651 (96) [IEC-651]	Sonómetros.
UNE-EN 60651/A1 (97)	Sonómetros.
UNE-EN 60804 (96) [IEC-804]	Sonómetros integradores promediadores.
UNE-EN 60804/A1 (97)	Sonómetros integradores promediadores.
UNE-EN 61260	Electroacústica. Filtros de bandas de octava y de bandas de una fracción de octava.
UNE 20942	Calibradores sonoros.
ISO 2631-2	Evaluación de la exposición humana al ruido. Parte 2: Continuous and shock-induced vibrations in buildings (1 to 80 Hz).
ISO 8041	Respuesta humana al ruido. Instrumentos de medida.
ISO 1996	Acoustique-Characterisation et mesurage du bruit de l'environnement.

✓ Normas generales de medida de ruido y vibraciones.

La primera norma fundamental es acogerse en todo momento a la legislación vigente, es decir, cumplir estrictamente lo establecido en las

Ordenanzas Municipales, los Reglamentos de la Comunidad Autónoma y cualquier otra norma legal o técnica de aplicación.

Con carácter general, son de obligación cumplimiento las siguientes normas:

- 1) Todos los sonómetros, o equipos equivalentes utilizados para la determinación de los niveles de evaluación, deberán ser sometidos a una comprobación de su funcionamiento en el mismo lugar de la medida, antes y después de efectuar la misma, mediante el uso de un calibrador acústico.
- 2) Para efectuar las medidas se deberán tener en cuenta las indicaciones facilitadas por el fabricante de los equipos de medida en cuanto a rango de medida, tiempo de calentamiento, influencia de la humedad, influencia de los campos magnéticos, electrostáticos, vibraciones y toda aquella información que asegure el correcto uso del equipo.
- 3) En previsión de posibles errores de medición, se adoptarán las siguientes precauciones.
 - Contra el efecto pantalla. El observador se colocará en el plano normal al eje del micrófono, detrás de él, y lo mas separado posible del mismo para poder efectuar una lectura correcta en el indicador del aparato e medida.
 - Contra la distorsión direccional. Se cuidará la posición de la inclinación del micrófono para conseguir lecturas que no estén interferidas por la posición direccional del mismo, según indicaciones de los fabricantes.
 - Contra el efecto del viento. Se empleará una pantalla antiviento para efectuar las mediciones. Si la velocidad, a criterio del responsable de la medición, fuera suficiente para distorsionar las medidas y con ellos los resultados podrá desistir de efectuarlas, haciéndolo constar en el informe. En cualquier caso, cuando la velocidad del viento supere los 3 m/s se desestimarà la medida.
- 4) La medición se llevará a cabo, tanto para los ruidos emitidos como para los transmitidos, en el lugar en que su valor sea más alto, salvo indicaciones para casos específicos, y si fuera preciso en el momento y situación en que las molestias sean más acusadas.

5) En todas las medidas se recomienda el uso de un trípode. El micrófono debe estar situado a una altura sobre el suelo de 1,2 a 1,5 metros. Para las medidas en ambiente exterior, el micrófono se situará a una distancia aproximada de 1,5 metros del límite de parcela o propiedad del emisor acústico a evaluar. Para las medidas en ambiente interior, el micrófono se situará como mínimo a un metro de las paredes y a 1,5 metros de las puertas o ventanas que tenga el recinto. Si las dimensiones no permiten cumplir lo anterior, se efectuará la medida en el centro geométrico de la habitación o recinto.

6) En las medidas para valorar el aislamiento acústico frente al ruido aéreo, se deben seguir los criterios descriptivos en la norma UNE-EN ISO 140-4, según el procedimiento que establezca cada organismo competente en la medición.

✓ Procedimiento operativo y valoración de niveles sonoros.

Los siguientes procedimientos operativos deben considerarse como una referencia básica que recoge normas habituales de medida. Lógicamente el procedimiento operativo a seguir es el especificado por la legislación aplicable en el ámbito territorial donde se efectuó la medición.

Los casos más habituales regulados por las ordenanzas municipales son: la medida de las emisiones acústicas de los vehículos y las medidas de emisión de recintos. En el primer caso, es habitual que las medidas se realicen de acuerdo con lo establecido en los reglamentos 41 y 51 previamente mencionados.

En el caso de las medidas acústicas de recintos, situación habitualmente desencadenada por la denuncia de vecinos con relación a actividades ruidosas producidas en viviendas contiguas, bares de copas y discotecas, nos encontramos ante dos tipos de mediciones diferentes: emisión e inmisión acústica. Se considera como ruido de emisión a todos aquellos ruidos que pueden provocar molestias fuera del recinto o propiedad que contiene al emisor; mientras que el ruido en ambiente interior (inmisión) son todos aquellos ruidos que, procedentes de emisores identificados o no y ajenos al ambiente interior, puedan provocar molestias en áreas de trabajo y viviendas.

Con carácter general, se requiere la medición previa del **ruido de fondo** (L_{fondo}), es decir, el ruido existente no estando en funcionamiento la fuente sonora. La diferencia entre el ruido ambiente de evaluación (L_{eval}) y el ruido de fondo, representa el valor del ruido atribuible a la fuente de sonido. Para calcular esta diferencia, se procede de la siguiente forma:

- Si la diferencia entre ambos valores ($L_{\text{eval}} > L_{\text{fondo}}$) es mayor de 10 dB(A), no se efectúa ninguna corrección, siendo L_{eval} el nivel de evaluación aplicable.
- Si la diferencia ($L_{\text{eval}} > L_{\text{fondo}}$) está comprendida entre 3 y 10 dB(A) se aplicará el procedimiento de cálculo de diferencias de dB, descrito en la unidad didáctica anterior:

$$L_{\text{eval}} = 10 \cdot \log \left(10^{L_{\text{eval}}/10} - 10^{L_{\text{fondo}}/10} \right)$$

- Si la diferencia fuera inferior a 3 dB(A) se recomienda desestimar la medida del ruido de fondo y volver a realizarla en el momento en que éste sea más bajo.

En algunas normativas locales se especifica que la medida de los niveles de evaluación y de fondo debe realizarse mediante el uso de niveles estadísticos; en tal situación, la medida del nivel de fondo a considerar es de L_{90} , mientras que para el nivel de evaluación se toma el L_{10} (en términos generales, ambos métodos pueden considerarse equivalentes, pero en cualquier caso es la norma la que determina finalmente el modelo de medida).

El valor final comprendido será comparado con el establecido por la normativa para cada caso. Como referencia a las tablas siguientes se muestran los niveles de inmisión y emisión contemplados en el Real Decreto 1367/2007, por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid. Estos niveles pueden considerarse típicos y muy similares a los especificados por otras normativas autonómicas y locales.

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		L_d	L_e	L_n
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	60	60	50
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	65	65	55
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c).	70	70	65
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	73	73	63
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	75	75	65
f	Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen. (1)	Sin determinar	Sin determinar	Sin determinar

Fuente: Comunidad de Madrid. Real Decreto 1367/2007

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		L_d	L_e	L_n
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	55	55	45
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	60	60	50
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c.	65	65	55
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	68	68	58
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	70	70	60

Tipo de área acústica		Índice de ruido L_{Amax}
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	80
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	85
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c.	88
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	90
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	90

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		$L_{K,d}$	$L_{K,e}$	$L_{K,n}$
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	50	50	40
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	55	55	45
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c.	60	60	50
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	63	63	53
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	65	65	55

Fuente: Comunidad de Madrid. Real Decreto 1367/2007

Adicionalmente las Ordenanzas Municipales suelen especificar el nivel máximo de presión sonora admisible en el interior de los locales dedicados a ciertas actividades recreativas y espectáculos musicales dotados de sistemas de amplificación sonora. En tal caso, la medida del valor de la fuente sonora se realiza de igual forma que en las circunstancias anteriormente consideradas, es decir que para obtener el nivel de la fuente hay que realizar el cálculo de la diferencia entre los niveles de fondo y de evaluación, con corrección pertinente.

121

Acta oficial de medición de ruidos del Ayuntamiento de Madrid.

Ayuntamiento de Madrid

Cuerpo de Policía Municipal
Insp. Ser. Especiales y Tráfico
Subinsp. Servicios Especiales
Unidad Protección Medio Ambiente

ACTA DE MEDICIÓN DE RUIDOS

En Madrid, a las ____ horas del día ____ de ____ de ____, la patrulla con indicativo ____, compuesta por los agentes de Policía Municipal con n.º policiales ____ y ____, pertenecientes a la Unidad de Medio Ambiente, proceden a extender la presente acta de medición de ruidos, conforme determina la Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano.

ACTIVIDAD:	DISTRITO
DOMICILIO:	TFNO.
TITULAR:	DNI/NIF
ENCARGADO/A:	DNI/NIF
DOMICILIO:	LICENCIA MUNICIPAL: REF.º

Denunciante: D/D.º _____, con D.N.I./N.I.F. _____, con domicilio en _____, piso _____, tño.: _____.

MEDICIONES			NIVEL SONORO EN dBA			
HORA	PUESTO MEDICIÓN	ELEMENTO INDUSTRIAL EN FUNCIONAMIENTO	MEDIDO	NIVEL AMBIENTE	*LÍMITE MÁXIMO	ART. O.M.

MEDICIONES EN EXTERIOR

NIVEL MÚSICA PUERTAS ABIERTAS:	NIVEL MÚSICA PUERTAS CERRADAS:	NIVEL MÁXIMO LIMITADOR DE MÚSICA
--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------

(*) A expensas de la corrección a introducir en función del nivel ambiente.

Realizadas mediciones acústicas a la instalación cuyos datos figuran en el recuadro superior, en la fecha y hora indicadas, se ha obtenido los resultados que se reseñan, utilizando el sonómetro medidor marca BRÜEL & KJÆR modelo _____ n.º _____.

OBSERVACIONES:

Y para que conste, a los efectos oportunos, se firma la presente por los/las agentes actuantes, ofreciéndose al encargado/a-titular para su firma, que no implica conformidad.

EL/LA TITULAR O ENCARGADO/A DE LA ACTIVIDAD LOS/LAS AGENTES ACTUANTES

AGM 0612853

✓ Mapas de contaminación acústica.

Los mapas de contaminación acústica o mapas de ruido son un instrumento de evaluación de la contaminación acústica de las zonas urbanas que sirven de base para la aplicación de medidas de control y prevención. En esencia un mapa de ruido es una representación gráfica de niveles de ruido por medio por medio de una simbología adecuada que permite ofrecer una visión global del problema.

En un mapa de ruido, los datos obtenidos del estudio acústico se representan sobre el mapa de la zona objeto de estudio, utilizando algunos de los siguientes procedimientos:

- Curvas de igual presión sonora (isófonas).
- Cuadrículas de color.
- Mallas coloreadas o con distinto trazo de línea.

La metodología del trabajo habitual consiste en medición directa de los niveles de presión sonora en puntos preseleccionados del mapa urbano durante diferentes momentos del día, con frecuencia una medición en las horas de máxima actividad diurna y otra a media noche.

La selección de los puntos a muestrear pueden realizarse según diversos métodos, los más habituales son:

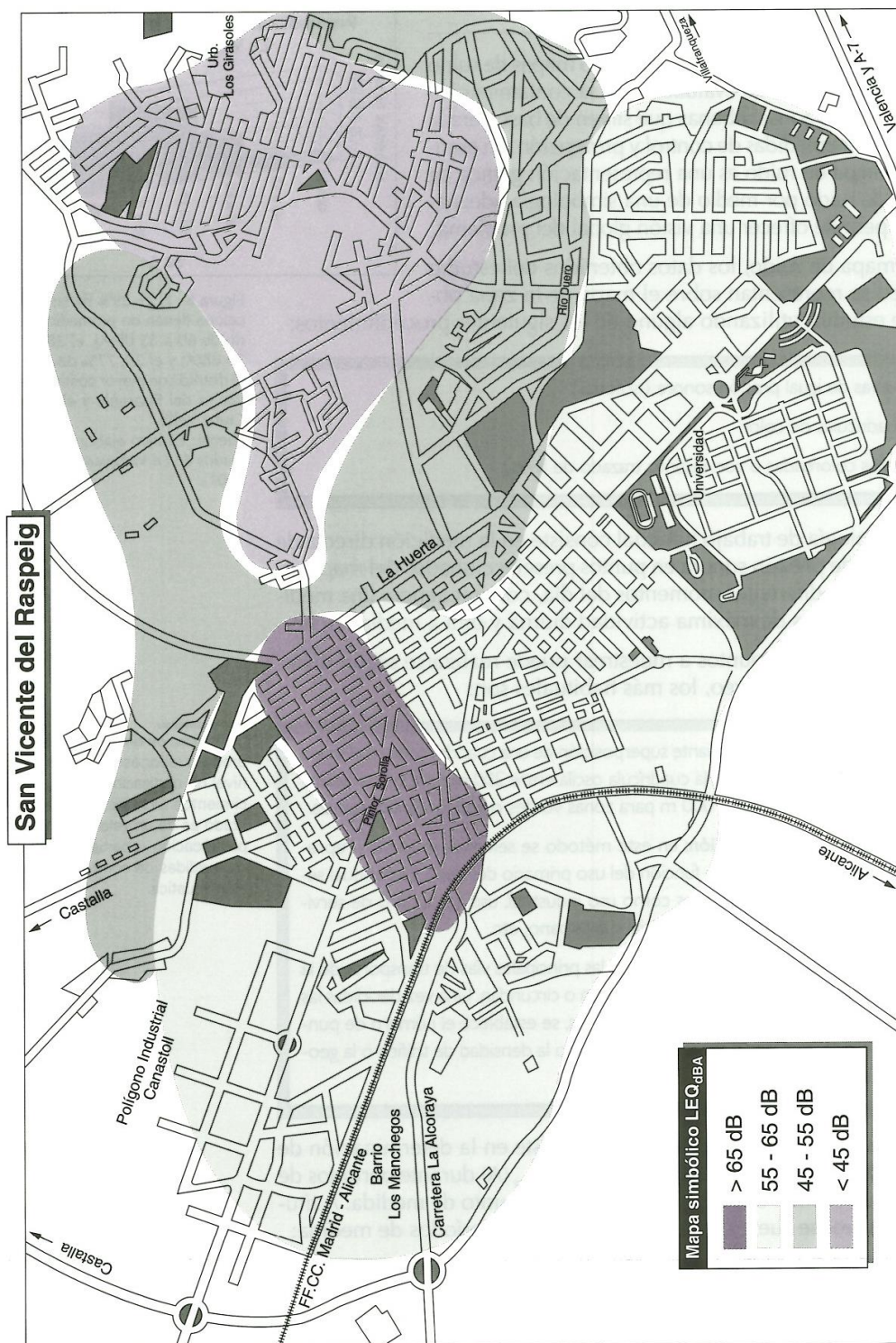
- Muestreo aleatorio, mediante superposición de una cuadrícula sobre el mapa de la zona. El tamaño de la cuadrícula oscila entre 200 m para zonas densamente pobladas hasta 1 000 m para zonas verdes o polígonos industriales.
- Muestreo por zonificación, en este método se seleccionan puntos representativos de la ciudad en función del uso privado del suelo. Es habitual separar las zonas en categorías como uso industrial, uso terciario o de servicios, residencial urbano, residencial sub-urbano, etc.
- Muestreo de tela de araña, siguiendo las principales vías de transporte de la ciudad: calles, carreteras que atraviesan o circulan. Una vez decididas las vías donde se van a realizar las mediciones, se establece el número de puntos a

medir en función de parámetros como la densidad de tráfico o la geometría de la calle.

El sistema más habitual de medición consiste en la determinación de los niveles de presión sonora equivalente *Leq* durante períodos de tiempo que oscilan entre 5 y 20 minutos por punto de medida. A título orientativo, se suelen emplear los siguientes periodos de medida:

- De 5 a 10 minutos para puntos de tráfico intenso durante el día.
- De 15 a 20 minutos para tráfico ligero o durante la noche.

VER EN SECCIÓN DE ANEXOS EL DOCUMENTO "RUIDO Y SALUD EN BARCELONA"



Ejemplo de mapa de ruido en San Vicente del Raspeig (Alicante).

✓ **Determinación de los niveles de vibración en el ambiente interior.**

Se entiende como vibraciones en ambiente interior todo fenómeno dinámico que, originado por instalaciones, maquinas, dispositivos o medios de transporte, provoque en el interior de los edificios oscilaciones de los elementos o partes que lo componen.

El nivel de evaluación se obtendrá para el momento y lugar en que la molestia sea más acusada, respetándose lo establecido en la norma ISO 2631-2, mediante la medida del valor eficaz de la aceleración vibratoria en el rango de frecuencias comprendido entre 1 y 80 Hz. La medida se efectuará siempre que el plano vibrante y en dirección perpendicular a él, ya sea suelo, techo o paredes.

Se efectuarán varias medidas, distribuidas en el espacio y en el tiempo de forma que se garantice que la muestra es suficientemente representativa. El número mínimo aconsejable de medidas a realizar será de tres, con un tiempo de medición de al menos un minuto por medida.

Se deben llevar a cabo dos evaluaciones diferenciadas, una primera con la fuente vibratoria en funcionamiento y otra con la fuente vibratoria sin funcionar. Para cada frecuencia se efectuará la sustracción aritmética de los valores de aceleración vibratoria obtenidos en cada evaluación. El nivel de evaluación del periodo completo (nocturno o diurno) será el mayor de los obtenidos para los periodos individuales considerados.

El nivel de evaluación se expresará en términos del índice de percepción vibratoria **K**. En caso de que el equipo de medida de las vibraciones no permita la lectura directa del valor **K**, éste se podrá obtener a partir del análisis en 1/3 de octava de la señal vibratoria en el rango de 1 a 80 Hz, y la posterior utilización de las curvas de valor **K** establecidas por la norma ISO.

Si el valor obtenido para uno o más de los tercios de octava superan el valor máximo permitido de vibración, se considerará que existe afección por vibración. En la siguiente tabla se muestran, a modo de ejemplo, los valores límites de vibración en interiores vigentes en la Comunidad de Madrid.

Tipo de Área Acústica		Límite Según Período. Descriptor Empleado $L_{Aeq,10}$		
		Día	Tarde	Noche
e	I	50	50	40
a	II	55	55	45
d	III	60	60	50
c	IV	63	63	53
b	V	65	65	55

Fuente Comunidad Autónoma de Madrid. Real Decreto 1367/2007

➤ Actuaciones frente a la contaminación acústica.

Las actuaciones de control de la contaminación acústica, al igual que cualquier otro problema ambiental, pueden ser clasificadas en acciones preventivas y correctivas.

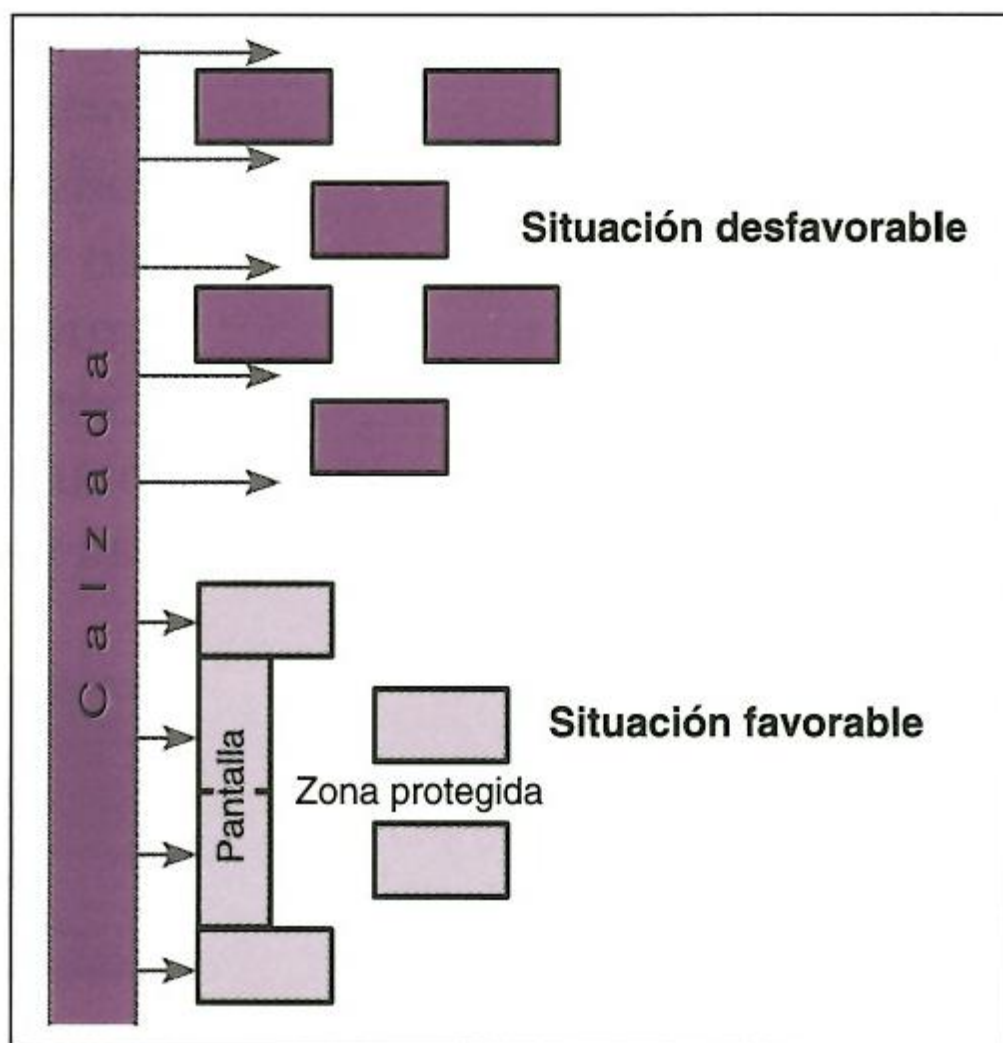
1) Acciones preventivas.

Las acciones preventivas son estrategias a medio-largo plazo cuyo objeto fundamental es la reducción de las emisiones acústicas, evitar su concentración en ciertas áreas urbanas o anticiparse a la continuación sonora previsible como consecuencia del desarrollo urbanístico de una zona.

Probablemente la acción más eficaz en este ámbito es una cuidadosa planificación urbana que se tenga en consideración el posible impacto acústico de las actividades asignadas a cada zona de la ciudad. Este proceso de **planificación o zoning** requiere la realización, como parte de los estudios de evaluación de impacto ambiental, de mapas sonoros de contaminación acústica. Tanto los mapas sonoros como otros estudios acústicos (por ejemplo, los modelos informáticos de contaminación acústica) permiten cuantificar el impacto de las diversas actividades y conocer de manera aproximada la evaluación posible de la contaminación en una zona, en función de parámetros diversos como el tipo de actividad o el diseño urbanístico o la red viaria.

Una vez establecidas las prioridades en el diseño urbano, deben aplicarse soluciones preventivas; entre ellas, cabe mencionar **diversas acciones urbanísticas y de diseño arquitectónico** como:

- ✓ Creación de zonas verdes y de zonas de tráfico restringiendo que actúen como **islas acústicas**.
- ✓ Planificación de la trama viaria evitando la concentración del tráfico en algunas zonas y creando circunvalaciones que eviten el tránsito de los vehículos de paso por la ciudad.
- ✓ Estudios arquitectónicos de las nuevas construcciones que considere la orientación adecuada de éstas, su disposición espacial (**edificios pantalla**) y el diseño en planta de los edificios.



Importancia de la distribución de los edificios en la prevención de la contaminación acústica.

- ✓ Construcción de vías de circulación con un diseño adecuado que evite la generación de ruido (asfaltos especiales) o su transmisión mediante túneles o sistemas semisubterráneos en las zonas de mayor densidad previsible de tráfico.
- ✓ Política adecuada de transporte y ordenación del tráfico: potenciación de los sistemas públicos de transporte, regulación flexible del funcionamiento de semáforos, etc...

Adicionalmente como ya se viene realizando en algunos países, sería recomendable desarrollar medidas que estimulen la utilización de productos silenciosos, incentivando a los fabricantes, instaladores y compradores, reducción de las tasas y gravámenes a las industrias y actividades que consigan lograr un determinado nivel de calidad acústica.

También es importante remarcar la importancia de sensibilizar a los ciudadanos, a través de la información y educación ambiental, en aspectos relativos a la prevención de la contaminación acústica. Los objetivos básicos de cualquier programa educativo de lucha contra el ruido son:

- ✓ Sensibilizar a los ciudadanos para que comprendan que el ruido es un problema evitable, al menos parcialmente, con la adecuada colaboración de todos.
- ✓ Evitar conductas poco respetuosas y lesivas para el resto de los ciudadanos como circulación de las motocicletas a “escape libre”, conducción “deportiva”, audición musical con altos niveles de sonido, fiestas nocturnas en viviendas, etc.
- ✓ Concienciar sobre la importancia sanitaria del problema acústico y su repercusión sobre la calidad de vida.
- ✓ Informar sobre las normativas básicas de emisión e inmisión acústica.
- ✓ Recomendar el uso de vehículos, maquinaria y electrodomésticos de baja emisión acústica y con la adecuada insonorización.

2) Acciones correctivas.

Desafortunadamente, las medidas preventivas, a pesar de su gran utilidad, son insuficientes para eliminar el problema de la contaminación acústica. Se requieren por ello medidas de carácter correctivo que permitan minimizar la emisión, la transmisión o la recepción del ruido. Estas acciones, compatibles en algunos casos, incluyen esencialmente soluciones normativas y de ingeniería acústica que podemos

clasificar como actuaciones sobre la fuente y actuaciones de protección de los receptores.

- Actuaciones correctivas sobre la fuente.

El ruido ambiental está compuesto de un ruido de fondo continuo, integrado por el ruido de tráfico, actividades industriales y comunitarias, al que se superponen ruidos transitorios e impulsivos más intensos procedentes de fuentes como obras públicas, ruidos de aeronaves, vehículos pesados, maquinaria, etc.

Puesto que la mayor parte de la contaminación se origina en los medios de transporte y maquinaria, la forma más directa de atacar el problema es el diseño en origen de sistemas de baja emisión acústica. La instauración de estos sistemas por parte de los fabricantes requiere la existencia de normas legales que obliguen a éstos a adaptarse al estado de desarrollo técnico alcanzado en cada momento. Aunque el grueso de estas normas está constituido por las relativas a homologación de vehículos y maquinaria industrial, es de prever el desarrollo paulatino de legislación aplicable a una gran parte de las herramientas y electrodomésticos de uso habitual.

Otra herramienta de indudable valor es el desarrollo de las ordenanzas municipales y reglamentos de inspección técnica de vehículos (ITV) que contemplen expresamente las medidas necesarias para el control y sanción de vehículos y actividades generadoras de ruido por encima de los márgenes establecidos en la ley.

La limitación del ruido emitido por aviones y ferrocarriles representa una problemática especial. En el primer caso, la propagación del ruido es aérea y no encuentra obstáculos en la transmisión, lo que conlleva que la única medida eficaz sea el diseño de aeronaves con bajas emisiones acústicas en combinación con una planificación adecuada del tráfico aéreo. En el caso del ferrocarril, a excepción de algunos países como Holanda, estados Unidos o Japón, no es habitual la existencia de legislaciones específicas sobre control de la contaminación acústica; en la mayor parte de los países, el control del ruido se realiza mediante el uso de sistemas de protección acústica en las márgenes de las vías férreas.

- Actuaciones de protección de los receptores.

A pesar de que se ejercen acciones preventivas y de control de emisiones en la fuente, es inevitable que una cierta energía sonora alcance finalmente a los receptores. Para reducir en lo posible esta energía se requiere aislar adecuadamente al receptor (aislamiento acústico) o limitar la propagación del ruido (apantallamiento acústico). En ambos casos, se trata de una solución de ingeniería acústica económicamente costosa, aunque con demasiada frecuencia es la única opción aplicable.

a) El aislamiento acústico.

Se fundamenta en el uso de materiales que interpuestos entre la fuente y el receptor absorben la energía sonora transformada en otras formas de energía. Entre los sistemas de aislamiento más usados se hallan:

- Aislamientos porosos
- Absorbentes de membrana
- Resonadores Helmholtz

Aislamientos porosos, están constituidos por lanas minerales, fibra de vidrio y materiales plásticos (como el poliestireno o corcho blanco), cuya característica común es la presencia de poros que forman un conjunto interior de oquedades; al penetrar en su interior, el sonido se transforma en calor. Los aislantes porosos están disponibles en forma de paneles prefabricados, como material de relleno, e incluso en forma de masillas o pinturas de recubrimiento. Son más efectivos para altas que para bajas frecuencias.

Absorbentes de membrana, son paneles que transforman la energía acústica en mecánica, en función de la frecuencia característica de resonancia del material. Estas pantallas están construidas con diversos materiales, siendo los más frecuentes el aluminio, la chapa galvanizada, el plástico, los prefabricados de hormigón y el ladrillo. Es frecuente que estos paneles aislantes se dispongan en forma de láminas con un espacio entre ellas, en forma de cámara de aire o bien con un relleno de

materiales porosos. Estos sistemas son efectivos para frecuencias comprendidas entre 50 y 500 Hz. De forma aproximada, la frecuencia de resonancia ***f_r*** puede calcularse mediante la siguiente fórmula.

$$f_r = \frac{60}{\sqrt{m \cdot d}}$$

132

Donde *m* es la masa del panel por unidad de superficie (kg/m²) y *d* el espacio de separación de la cámara *m*.

Ejemplo nº 1

Un doble panel acústico de aluminio de 5 kg/m² y una cámara de aire de 200 mm, tendrá una frecuencia de resonancia de:

$$f_r = \frac{60}{\sqrt{5 \cdot 0,2}} = 60 \text{ Hz}$$

Los resonadores Helmholtz (resonadores de cavidad) están constituidos por contenedores huecos con un pequeño cuello de entrada. Al entrar en la cavidad, el aire sufre un cambio de impedancia acústica que genera resonancia en el interior de la misma, provocando la amortiguación del ruido. Este tipo de dispositivos tiene una gran eficacia, pero su ancho de banda es muy reducido, lo que obliga a disponer de varios de estos resonadores ajustados a diferentes frecuencias de resonancia. Su uso más habitual es el aislamiento acústico de salas de concierto para controlar sonidos con tiempos elevados de reverberación a ciertas frecuencias aisladas. Algunos sistemas de aislamiento basados en el mismo principio de los resonadores Helmholtz, están siendo investigados como base para el diseño de pantallas acústicas, pero su uso actual es muy limitado.

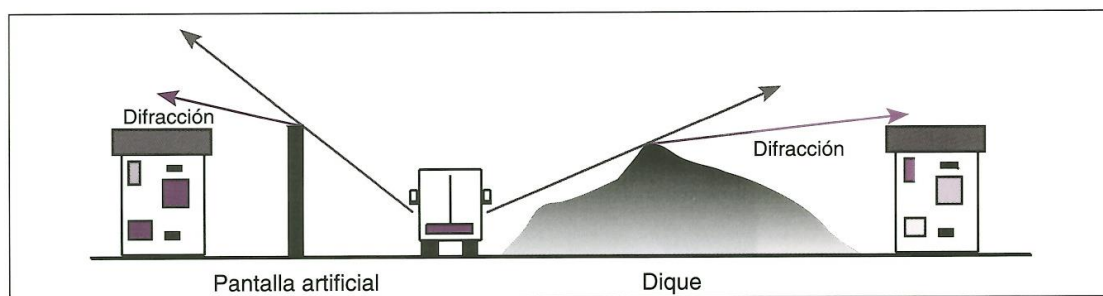
Otra medida correctiva eficaz para proteger al receptor es el aislamiento de viviendas. El aislamiento sonoro proporcionado por las paredes de la vivienda para una construcción normal oscila entre 35 y 60 dB. El punto más débil son las ventanas, por ello las fachadas orientadas hacia zonas ruidosas no deben tener más de un 25% de hueco de ventana. Las ventanas sencillas pueden amortiguar hasta 25 bB, mientras que mediante doble acristalamiento y otros sistemas especiales se puede reducir el nivel acústico en 40 dB.

En España la Norma Básica de la Edificación: condiciones acústicas de la edificación (NBE-CA-88) establece las directrices básicas para el aislamiento acústico de los edificios de nueva construcción desde 1988.

NIVELES DE INMISIÓN MÁXIMOS RECOMENDADOS POR LA NBE-CA-88		
Tipo de edificio	Local	Inmisión máxima $L_{eq}(A)$ Diurno / Nocturno
Residencial	Estancias	45/40
	Dormitorios	40/30
	Servicios	50/-
	Zonas comunes	50/-
Administrativo/Oficinas	Despachos	45/-
	Oficinas	30/-
	Zonas comunes	50/-
Sanitario	Estancias	45/-
	Dormitorios	30/25
	Zonas comunes	50/-
Docente	Aulas	40/-
	Sala de lectura	35/-
	Zonas comunes	50/-

b) Apantallamiento acústico.

Se realiza mediante pantallas o barreras acústicas cuya función es evitar la propagación del sonido desde la fuente al receptor. Su aplicación más típica es la protección acústica de viviendas situadas en la proximidad de carreteras o vías urbanas con la alta densidad de tráfico. Las más usadas y sencillas son las pantallas artificiales.



Apantallamiento acústico de una carretera próxima a una zona de viviendas.

134

Las pantallas artificiales toman habitualmente la forma de muros contruidos de obra o mediante paneles aislantes prefabricados. Para que el aislamiento se considere eficaz su índice de amortiguación, diferencia entre ambas caras de la pantalla, debe ser superior a 20 dB, con una reducción mínima de 5 dB a nivel del receptor. En el caso de pantallas dotadas de materiales de relleno poroso se alcanzan valores típicos de aislamiento de 10 a 15 dB.

La altura y longitud de las pantallas se calcula teniendo en consideración la disposición espacial de la fuente y los receptores, así como los procesos físicos de propagación del sonido. La altura mínima de las pantallas es de 1,5 m, la habitual se encuentra entre 3 y 4 m.

Otros sistemas de apantallamiento acústico son los diques de la tierra y las pantallas de vegetación. Ambos sistemas permiten una mejor integración con el entorno, pero requieren una gran disponibilidad de espacio y en el caso de las plantaciones vegetales, hay que añadir el inconveniente que supone el tiempo que tardan en crecer los arboles hasta que alcanzan la eficacia de amortiguación acústica necesaria, la amortiguación sonora que se alcanza con los diques de tierra es similar a la obtenida con las pantallas artificiales, mientras que en el caso de las franjas arboladas, o pantallas de vegetación, se requieren entre 50 y 100 m de profundidad (según el tipo de árboles y marco de plantación) para conseguir un aislamiento de unos 10 dB.

❖ **CONTAMINACION POR RADIACIONES.**

Las aplicaciones médicas y tecnológicas de las radiaciones y la radiactividad se han convertido en parte habituales de nuestras vidas, lo que puede hacernos olvidar el hecho de que la física de las radiaciones tiene apenas un centenario de años y que en la actualidad nuestros conocimientos radiobiológicos son todavía muy incompletos.

Las radiaciones procedentes de fuentes radioactivas empezaron a estudiarse a principios del siglo xx, existiendo numerosas referencias históricas sobre lesiones producidas por el uso de estas materias en los investigadores que las manipulaban.

Por otra parte, en los últimos años se han realizado varios estudios sobre los campos electromagnéticos, como los generadores por las líneas de alta tensión o los producidos por los sistemas de telecomunicación, que apuntan a la existencia de posibles efectos negativos para la salud humana.

Poco después del descubrimiento de los “rayos penetrantes” (rayos X) por Röentgen en 1895, E. Thomson, un prestigioso ingeniero norteamericano, describió las quemaduras producidas en sus manos por la exposición deliberada a los rayos X. En ese mismo año, Thomas Alva Edison (1847-1931), que por aquel entonces intenta desarrollar una lámpara fluorescente de rayos X, apreció que su ayudante C. Dally estaba “venenosamente afectado” por la influencia de estos rayos, hasta el punto que sufrió caída del cabello (alopecia) y úlceras en las partes expuestas a la radiación, falleciendo poco después.

Tanto Henri Becquerel (1852-1908), descubrieron de la radiactividad, como Pierre Curie (1859-1906), co-descubridor del radio, manifestaron en sus escritos haber sufrido quemaduras por las radiaciones de estas sustancias.

Otros hechos como el descubrimiento de que las radiaciones procedentes de pinturas fluorescentes producía cáncer de hueso (1925), o los consabidos efectos de las bombas nucleares lanzadas sobre Japón durante la Segunda Guerra Mundial, forman parte de esta cuestión científica que ya está empezando a completarse.

❖ Radiobiología de las radiaciones ionizantes.

En los últimos 50 años se han desarrollado diversos modelos teóricos, entre los que el denominado modelo molecular o modelo lineal-cuadrático es frecuentemente aceptado como una aproximación razonable a los fenómenos radiobiológicos observados en la práctica.

El modelo molecular parte de los siguientes principios:

- Existen ciertas biomoléculas cuya integridad es crucial para el mantenimiento de las funciones celulares metabólicas y reproductivas.
- Las radiaciones actúan de manera directa o indirecta afectando a estas moléculas diana.
- Entre todas las posibles moléculas diana, el ADN es la molécula cuya alteración resulta más crítica para la supervivencia celular.
- Hay mecanismos de reparación, químicos y enzimáticos, que pueden modificar, bajo ciertas circunstancias, la respuesta celular a la radiación.

Aunque las radiaciones inducen cambios estructurales y lesiones de diversas biomoléculas (ácidos nucleicos, lípidos de membrana, proteínas, etc.) el ADN, dado su carácter de regulación y expresión genética, es la molécula cuya lesión resulta más determinada para la supervivencia de la célula. Las lesiones detectadas en el ADN pertenecen a cuatro tipos básicos:

- 1) Ruptura de cadenas (simple o doble).
- 2) Formación de enlaces cruzados entre cadenas, con otras moléculas de ADN o con proteínas.
- 3) Lesión de las bases.
- 4) Formación de dímeros (enlaces moleculares entre dos bases próximas).

Existen mecanismos enzimáticos que permiten la reparación de estas lesiones, aunque con distintos grados de eficacia. En función de la capacidad de reparación se pueden producir tres situaciones:

- 1) Existen separación completa.
- 2) Existen separación incompleta lo que puede originar una mutación.
- 3) No hay reparación y la lesión es potencialmente letal.

En las células se originan alteraciones funcionales y estructurales. Las alteraciones funcionales más importantes son las originadas por la lesión del ADN, que provocan frecuentemente un retardo mitótico (retraso de la división celular) y a partir de cierta dosis, un fallo reproductivo (pérdida de la capacidad de división celular). Las alteraciones estructurales se producen con niveles de radiación elevados, provocando la muerte celular inmediata. Entre ellas, destacan la lesión del núcleo de la célula y la ruptura de las membranas celulares con destrucción de algunos orgánulos citoplasmáticos, como los liposomas, provocando la autólisis de la célula.

Existen muchos factores que van a determinar el grado de lesión producido por una determinada radiación. Algunos de estos factores son dependientes de la propia radiación como su transferencia lineal de energía, la dosis y la tasa de aplicación (reparto de la dosis en el tiempo), mientras que otros dependen de la naturaleza del tejido irradiado.

La gravedad de la lesión se incrementa con la dosis y es dependiente de la eficacia biológica relativa de la radiación. La tasa de la radiación es también un factor determinante, ya que si la radiación está distribuida a lo largo de un periodo suficiente de tiempo, se permite que los mecanismos de reparación puedan actuar reintegrando parte de las células a su estado anterior de funcionalismo normal.

RADIOSENSIBILIDAD CARACTERÍSTICA DE LOS TEJIDOS Y ÓRGANOS HUMANOS	
Radiosensibilidad	Tejidos
Alta	Órganos linfoides, médula ósea, sangre, gónadas e intestinos.
Moderada	Piel, epitelios y mucosas de varios órganos (córnea, cavidad oral, mucosas digestivas, vejiga urinaria, vagina, cérvix uterino, uréteres).
Intermedia	Cristalino, estómago, cartílago y hueso de crecimiento, capilares.
Baja	Cartílago y hueso maduro, glándulas salivares, pulmones, riñones, hígado, páncreas, tiroides, glándulas pituitaria y adrenales.
Muy baja	Músculo, médula espinal, cerebro.

Además de la radiosensibilidad inherente al tipo de tejido, existen factores adicionales que pueden modificar la respuesta del tejido a la radiación. Entre estos factores destacan el grado de oxigenación y la presencia en el medio de ciertas sustancias químicas que incrementa la radiosensibilidad (radiosensibilizantes) o la reducen (radioprotectoras).

El oxígeno incrementa la radiosensibilidad del tejido. El efecto del oxígeno se describe generalmente como un efecto modificador de dosis, de manera que existe una relación constante entre la fracción superviviente a una determinada dosis de radiación en condiciones de ausencia y presencia de oxígeno.

138

✓ Clasificación de los efectos. Efectos deterministas y estocásticos.

Los efectos asociados a las radiaciones ionizantes pueden ser clasificados atendiendo a diferentes aspectos:

- Los efectos se denominan genéticos o hereditarios cuando la alteración se transmite por mecanismo de herencia, o somáticos cuando solo afecta a la población celular irradiada.
- Desde el punto de vista de aparición en el tiempo se clasifican en tempranos y tardíos. De manera convencional se establece que los efectos tempranos son los producidos en los 30 días siguientes a la irradiación, mientras que los efectos tardíos pueden aparecer meses incluso años después. Cuando se compara la letalidad de las radiaciones entre diferentes tejidos o animales de experimentación es frecuente el uso de dosis letal que produce una mortalidad del 50% de los individuos o células en un periodo de 30 días.
- En función de la relación dosis- respuesta los efectos pueden ser deterministas o estocásticos.

Los procesos patológicos hasta ahora mencionados pueden ser descritos mediante una curva dosis-respuesta, como la definida por el modelo lineal-cuadrático. En este modelo, aunque no específicamente señalado, se puede entender que existe un umbral por debajo del cual no se espera que aparezcan manifestaciones observables en el individuo expuesto. La dosis guarda correlación con la intensidad de la respuesta, de forma que una dosis elevada ejercerá un efecto más manifiesto que

una dosis baja. Este tipo de efectos son los llamados efectos deterministas o no-estocásticos.

Frente a este tipo de respuesta, los efectos genéticos y la aparición de cáncer inducida por radiaciones no presentan umbral, ni tampoco existe relación entre la gravedad de la lesión y la dosis. En estas situaciones, la dosis se relaciona con la probabilidad de contraer alguna de estas patologías y no con la intensidad de la respuesta. Estos efectos son denominados efectos estocásticos. El modelo habitual usado para describirlos es el denominado modelo lineal sin umbral, que relaciona de forma lineal la probabilidad del efecto con la dosis absorbida de radiación, sin existencia de un valor mínimo ausente de efecto.

La diferencia entre ambos tipos de respuesta puede justificarse hipotéticamente si pensamos que los efectos deterministas requieren la alteración de la función de un cierto número de células antes de que las manifestaciones sean observables, lo cual supone la existencia de un umbral mínimo de alteración. Por el contrario la aparición de mutaciones o el desarrollo de cáncer pueden justificarse por una lesión que solo afecta a una célula o a un grupo reducido de ellas. La respuesta estocástica se contempla como un evento aleatorio, o una concatenación de ellos, que pueden conducir a una alteración tisular a partir de la lesión de una simple célula. El adjetivo estocástico expresa la probabilidad en el tiempo de que una célula mutante pueda transformarse en una potencial lineal clonal que origine in proceso canceroso o una característica celular nueva transmisible a la progenie.

Los efectos deterministas son habitualmente efectos tempranos, aunque no es infrecuente la existencia de efectos tardíos mediados por diversas respuestas tisulares complejas. Los efectos estocásticos son siempre efectos a largo plazo, observables tras meses o años de una exposición aguda o por exposición crónica.

✓ Efectos deterministas.

Incluyen efectos tempranos y tardíos provocados por exposición aguda o crónica a la radiación ionizante. Los efectos mejor conocidos son los efectos tempranos producidos por irradiación local o global del organismo humano (síndrome de radiación aguda).

Entre los efectos de exposición local detectados cabe citar:

- Piel. La exposición aguda provoca un cuadro inflamatorio con signos característicos de quemadura; con dosis acumuladas a partir de 20 Gy y se puede producir radiodermatitis crónica con alopecia, distrofia de las uñas, trastornos de la sensibilidad (parestesias, pruritos) y sequedad de piel. A partir de 40 Gy es frecuente la hiperquemadura y grietas dolorosas en la piel y con más de 50 Gy se producen ulceraciones de curso muy alto.
- Región abdominal. Inicialmente se producen trastornos de la motilidad intestinal y reducción de la secreción gástrica por afectación de las células de la mucosa del estómago. Pueden aparecer ulceraciones intestinales que tiene a sobreinfectarse, pudiendo llegar, sin tratamiento adecuado, a la septicemia. Dosis mayores de 15Gy pueden ser letales.
- Riñones. A partir de 7 Gy se pueden producir trastornos funcionales, que en algunos casos, llevan a aparición de nefroesclerosis, lesión de arteriolas, hipertensión e insuficiencia renal.
- Gónadas. En contra de lo que puede aparecer, las lesiones de los órganos reproductivos requieren dosis altas de radiación. La esterilidad es infrecuente a menos que se produzca una exposición crónica con niveles elevados de radiación o como consecuencia de radioterapia. Con niveles inferiores a 3 Gy se pueden producir amenorrea temporal y disminución del número de espermatozoides, pero ambas patologías son reversibles. A partir de 5 Gy el riesgo de esterilidad permanece o se incrementa.
- Cabeza. La lesión más típica es la aparición de cataratas (> 2 Gy). A partir de 15 Gy se altera la función hipofisaria con variaciones de los niveles hormonales. Con niveles superiores a 20 Gy se pueden producir ulceraciones graves de la orofaringe y con niveles a partir de 50 Gy aparecen lesiones en el cerebro que conducen a la muerte.
- Tórax. La radiación afecta típicamente a los pulmones con desarrollo de una inflamación difusa (neumonitis por radiación) seguida de fibrosis que se presenta a partir de los dos meses de la irradiación. La afectación cardíaca es

menos frecuente, aunque se ha documentado aparición de pericarditis, disfunción valvular, arritmias y otras patologías como consecuencia de la irradiación torácica.

El síndrome de irradiación aguda es un cuadro sintomático producido por la irradiación global del organismo. Este síndrome es bien conocido por los investigadores como consecuencia de las bombas nucleares lanzadas en EE.UU. sobre Hiroshima y Nagasaki durante la Segunda Guerra Mundial y por otras situaciones donde accidentalmente se han producido niveles muy altos de contaminación radiactiva. El patrón clínico de esta patología se produce como superposición de las diferentes lesiones provocadas en los órganos por una dosis de radiación muy elevada (> 1 Gy) durante un periodo corto de tiempo (< 1 hora). Desde el punto de vista clínico se distinguen 4 etapas en el proceso, que se solapan en función de la dosis total recibida:

- 1) Pródromos.
- 2) Síndrome hematológico.
- 3) Síndrome gastrointestinal.
- 4) Síndrome neurológico.

Pródromos. Aparecen signos inespecíficos prodrómicos como náuseas, vómitos, dolor de cabeza, diarrea y reducción del número de linfocitos circulantes. Este proceso aparece a las pocas horas (< 2 Gy) o minutos (> 2 Gy) de la irradiación. Transcurridas unas horas e incluso semanas (dosis bajas de radiación) se produce una aparente mejoría, que puede durar hasta varias semanas. Tras este periodo de latencia aparecen los signos clínicos de irradiación.

Síndrome hematológico. Se produce con dosis de radiación entre 1 a 10 Gy. Se caracteriza por lesión de la medula ósea hematopoyética con anemia, leucopenia y plaquetopenia. Los pacientes desarrollan infecciones y son susceptibles de padecer hemorragias importantes. Con tratamiento adecuado se reduce la mortalidad, siendo el periodo de recuperación de varios meses.

Síndrome gastrointestinal. Provocado con dosis de 10 a 50 Gy, con destrucción de la mucosa intestinal. Se manifiesta por diarreas, deshidratación, desequilibrio iónico, infección y *shock*. Todas las personas afectadas fallecen en menos de 15 días.

Síndrome neurológico. Se manifiesta en dosis muy elevadas (< 50 Gy), con pérdida de coordinación muscular, dificultad respiratoria, manifestaciones epilépticas y finalmente coma y muerte en menos de 2 días. El curso es tan rápido que no llegan a producirse signos hematológicos ni gastrointestinales.

142

- Efectos deterministas en el útero (fetales)

La principal y más fiable fuente de información sobre los efectos *in utero* de las radiaciones ionizantes son los datos recogidos de los supervivientes de las bombas atómicas de Japón. Los principales efectos detectados fueron retraso mental y alteraciones del desarrollo; los estudios epidemiológicos relativos a la mortalidad entre los supervivientes que recibieron altas dosis de radiación prenatal no son concluyentes.

El retraso mental severo atribuible a las radiaciones se halló en 21 individuos de 800 supervivientes estudiados. Un porcentaje significativo de éstos sufrió disminución del coeficiente intelectual (CI) de grado variable en función de la dosis de exposición, con una reducción media de 5 puntos de CI para una dosis típica de 0,2 Gy. Los efectos más manifiestos se produjeron en los expuestos entre las semanas 8ª y 15ª de gestación.

Los estudios antropométricos realizados entre los supervivientes, una vez transcurridos de 10 a 18 años de la radiación, demostraron una reducción estadísticamente significativa de la tasa de crecimiento, peso y altura final.

- ✓ Efectos estocásticos.

Incluyen la carcinogénesis (efecto somático) y los efectos genéticos. En general, se admite que ambos grupos de efectos siguen un modelo lineal sin umbral de dosis, pero hay cierta discrepancia entre los investigadores. Algunos estudios apuntan

cierta correlación entre la dosis aplicada y la evolución posterior de algunos tipos de cáncer, ya que muestran un mayor potencial de metástasis si la dosis recibida es elevada.

- Carcinogénesis.

Las dos fuentes más importantes de información sobre el efecto de carcinogénesis inducida por radiaciones son los estudios experimentales (animales de laboratorio y cultivos celulares) y los estudios epidemiológicos. A continuación se citan las conclusiones más importantes partiendo de estas fuentes de estudio.

143

La teoría actual de la carcinogénesis se basa en tres aspectos clave:

- ✓ Se produce por transformación de una célula que pierde su capacidad de respuesta a los mecanismos de control ejercidos por el organismo sobre el crecimiento celular.
- ✓ Esta célula origina una línea celular (clon celular) con capacidad de desarrollo autónomo.
- ✓ Las células clonales son capaces de inmigrar y desarrollarse en otras zonas del organismo (metástasis).

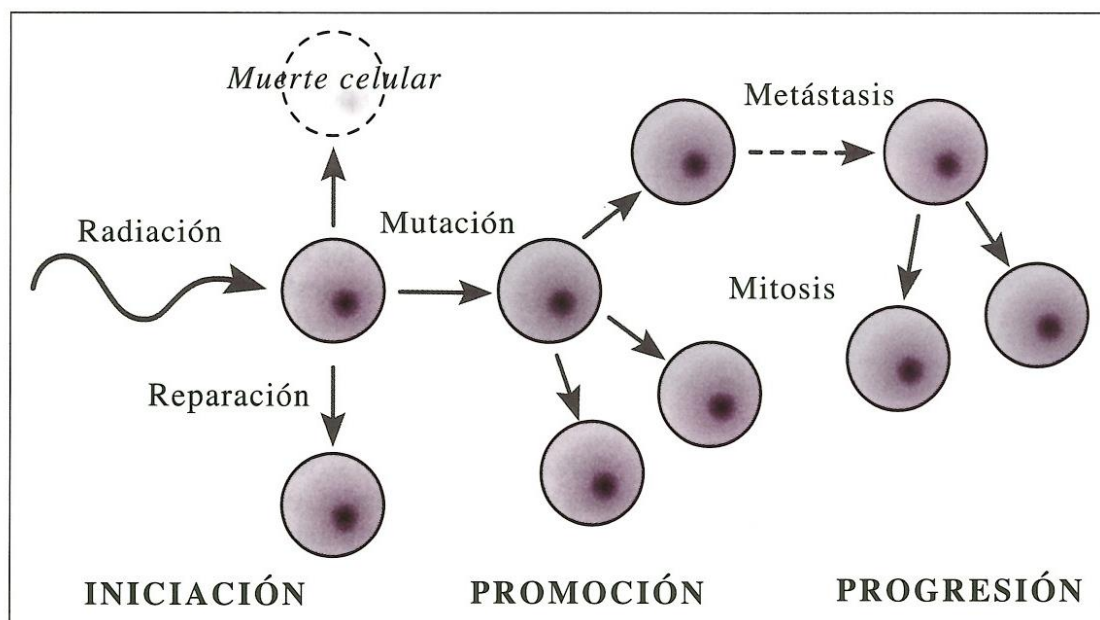
Esta teoría clonal de la carcinogénesis implica que tan solo se requiere la transformación de una célula para iniciar el proceso. La transformación se realiza por mediación de la molécula del ADN inducida por la radiación, pero otros muchos factores van a condicionar el proceso, como son: la estructura genética del individuo (oncogenes y genes supresores de tumor) Las hormonas y otros factores de modulación orgánica, los virus oncogénicos, el estado inmunitario, etc.

El mecanismo básico de la carcinogénesis es un proceso multietapa, que se divide, de una forma poco precisa, en: iniciación, promoción y progresión maligna.

Iniciación, es una etapa irreversible y necesaria asociada a la alteración somática el genoma de una célula, que puede originarse por mutaciones, en virus oncogénico o la activación de un oncogén hasta entonces silencioso.

Promoción, es el resultado de la exposición de la célula transformada a los genes que, en último término, condicionan la expresión del tumor como línea clonal; la promoción esta modulada por factores propios del organismo.

Progresión maligna, hace referencia a los mecanismos que llevan a la eventual diseminación local a distancia del tumor maligno.



Etapas de la carcinogénesis.

La presencia del factor iniciador sólo se requiere una vez, mientras que en principio, la presencia de promotor es requerida durante un periodo más o menos prolongado del tiempo. Iniciador y promotor pueden ser agentes distintos o un mismo agente; las radiaciones ionizantes son consideradas iniciadoras del cáncer y junto a otros factores, co-promotoras de su desarrollo.

**MORTALIDAD POR CÁNCER ENTRE LOS SUPERVIVIENTES
AL BOMBARDEO ATÓMICO SOBRE LAS CIUDADES
DE HIROSHIMA Y NAGASAKI**

Dosis	Riesgo relativo	Exceso de riesgo (%)
< 0,2 Sv	1,02	2
0,2 - 0,5 Sv	1,14	12
0,5 - 1 Sv	1,30	23
> 1 Sv	1,65	39

Fuente: Radiation Effects Research Foundation (RERF). Japón.

**MORTALIDAD POR LEUCEMIA ENTRE SUPERVIVIENTES
A LAS BOMBAS ATÓMICAS DE HIROSHIMA Y NAGASAKI**

Dosis	Riesgo relativo	Exceso de riesgo (%)
< 0,2 Sv	1,17	14
0,2 - 0,5 Sv	1,92	48
0,5 - 1 Sv	2,83	74
> 1 Sv	5,22	84

Fuente: Radiation Effects Research Foundation (RERF). Japón.

ESTIMACIONES SOBRE MORTALIDAD POR CÁNCER Y LEUCEMIA INDUCIDOS POR DOSIS BAJAS DE RADIACIÓN						
Exposición	Hombres (exceso de riesgo en %)			Mujeres (exceso de riesgo en %)		
	Total	Cáncer	Leucemia	Total	Cáncer	Leucemia
Dosis única 100 mSv	3,7	3,3	15	5	4,7	14
De por vida 1 mSv/año	2,5	2,3	8,9	3,4	3,2	8,6
De por vida 10 mSv/año	14	12	52	17	16	48

Fuente: BEIR V. Academia Nacional de Ciencias (EEUU., 1990)

146

✓ Fuentes naturales y antropogénicas de radiaciones ionizantes.

Existen dos tipos básicos de exposición a las radiaciones: externas e internas.

La exposición externa se produce por irradiación desde cualquier fuente de radiaciones ionizantes (electromagnéticas, como los rayos gamma o X, y materiales como los rayos alfa o beta). Las radiaciones alfa, por su alta transferencia lineal de energía, no penetran más allá de la epidermis y habitualmente no representan un peligro de irradiación; las betas son algo más penetrantes y si su energía es elevada pueden producir alteraciones en la piel y el cristalino. Las radiaciones más penetrantes son los rayos X, gama y las radiaciones de los neutrones, siendo éstas las fuentes más importantes de lesión orgánica por irradiación externa.

La exposición interna es la atribuible a radiaciones emitidas por radionúclidos incorporados al organismo por inhalación, ingestión y absorción dérmica. La exposición interna se deriva de la contaminación radiactiva del aire, del suelo, el agua y los alimentos. Muchos de los radionúclidos se incorporan a rutas metabólicas (como el yodo en el metabolismo de las hormonas del tiroides) o se acumulan en estructuras orgánicas como los huesos (por ejemplo, los radionúclidos de calcio, estroncio, radio y plutonio). La eliminación de estas sustancias es relativamente lenta, lo que proporciona una irritación interna de carácter crónico a lo largo de periodos prolongados de tiempo.

En función del origen se suele distinguir entre fuentes naturales y artificiales de irradiación.

- Fuentes naturales.

Todos los organismos vivos estamos continuamente expuestos a radiaciones procedentes de varias fuentes naturales que suelen clasificarse en fuentes cósmicas (radiaciones solares y de espacio exterior) y terrestres (procedentes de los materiales del suelo, el aire, el agua, los alimentos y los propios seres vivos). Muchas de estas fuentes producen niveles más o menos constantes de radiación, como la procedente del ^{40}K que ingerimos en los alimentos.

El conjunto de todas las fuentes naturales supone una exposición media anual de 2,4 mSv (ver tabla siguiente).

147

DOSIS DE EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN PROCEDENTES DE FUENTES NATURALES		
Fuente	Dosis anual efectiva (mSv)	
	Valores medios	Valores máximos
Radiación cósmica	0,38	2,0
Radionúclidos cosmogénicos	0,01	0,01
Radiación terrestre externa	0,46	4,3
Radiación terrestre interna, con exclusión del radón	0,23	0,6
Radiación terrestre interna por inhalación de radón* (^{222}Rn , ^{220}Rn)	1,3	10
Total	2,4	

Fuente: Comité Científico de las Naciones Unidas sobre el efecto de la radiación atómica. (UNSCEAR).1999.

- Fuentes artificiales.

Existe una gran diversidad de actividades humanas generadoras de radiaciones ionizantes. Destacan los cinco grupos siguientes:

- ✓ Pruebas de armamento nuclear.
- ✓ Exposición de origen medico
- ✓ Energía nuclear.
- ✓ Exposición profesional de origen diverso.
- ✓ Accidentes nucleares.

Pruebas de armamento nuclear. Han venido realizándose desde 1945 hasta el año 2000. Son la principal fuente de radiación artificial, alcanzando un máximo de 150 uSv durante el año 1963 y reduciéndose hasta el nivel actual de 5 uSv en el año 2000. La radiación todavía existente procede de radionúclidos residuales derivados de la fisión nuclear, principalmente ^{14}C , ^{90}Sr y ^{137}Cs .

Exposición de origen médico, a las radiaciones es con gran diferencia el origen más importante de irradiación a nivel individual y es probablemente el área donde la reducción de la exposición sea más efectiva. El origen más habitual de la exposición son los procedimientos radiodiagnósticos de imagen (radiografías y TAC), que representa entre 40 y 50 mSv se exposición media anual. Adicionalmente las exploraciones con radiofármacos (medicina nuclear) representan para un 2 % de la población una dosis de 100 mSv/año. Las estimaciones e exposición por radioterapia no se incluyen, dado su carácter puntual y las altas dosis de radiación usadas en la curación de las enfermedades malignas.

Las centrales nucleares, la mayor fuente de contaminación radioactiva son los residuos de las varillas usadas de combustible y de control del núcleo del reactor. Las normas internacionales establecen que e estos residuos deben ser eliminados por concentración y confinamiento (superficial o profundo) en ubicaciones autorizadas para tal efecto. El vertido de material radiactivo y su dilución en el medio ambiente sólo está autorizado para algunos efluentes líquidos o gaseosos de baja actividad.

La práctica del vertido marino de residuo radioactivo está regulada desde 1993 por el Convenio de Londres donde se prohibió efectuar vertidos radiactivos e industriales al mar quedando definitivamente prohibido a escala internacional.

La liberación incontrolada de radionúclidos puede también producirse como consecuencia de **accidentes** durante el transporte, manipulación, uso o eliminación de los materiales radiactivos. Desde un punto de vista ambiental, hay que distinguir entre los accidentes limitados a la proximidad de la planta o punto de origen, de aquellos que por su naturaleza afectan a zonas exteriores al lugar del vertido. Entre los accidentes de este último tipo cabe mencionar los acaecidos en Windscale (Reino Unido, 1957), Kyshtym (URSS, 1957), Chernobyl (Ucrania, 1986) y Tomsk-7 (Rusia, 1993).

Exposición ocupacional, la exposición a las radiaciones es muy variable, existiendo grandes diferencias en las dosis recibidas como consecuencia de cada actividad profesional específica. Hay que tener en cuenta, además que la exposición natural se puede ver incrementa por la acción de la actividad profesional.

VER DOCUMENTO ANEXO "INFORME DEL COMITÉ CIENTÍFICO DE LA ONU PARA EL ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LAS RADIACIONES ATÓMICAS 2018"

✓ Protección contra las radiaciones ionizantes.

En la legislación española, las normas generales de protección se establecen en el reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes Real Decreto 783/2001, de 6 de julio Otras normativas europeas de interés se recogen en el Tratado de Euroatom documento que encontraréis en los Anexos.

✓ Principios básicos de radioproteccion.

Según las recomendaciones de la Comisión Internacional de protección Radiológica (ICRP60, 1990) adoptadas por la Unión Europea, la protección contra las radiaciones se establece sobre tres principios básicos:

- 1) Justificación de la práctica: *"cualquier tipo de práctica que implique una exposición a radiaciones ionizantes debe ser justificada antes de que sea adoptada o aprobada por primera vez, por lo que se refiere a las ventajas que representen en relación con el detrimento de la salud que ocasionen, las clases o tipos de prácticas existentes podrían ser revisadas desde el punto de vista de su justificación, siempre que surjan nuevas e importantes evidencias sobre su eficiencia o consecuencias".*

- 2) Optimización de la protección. *“todas las exposiciones deberán mantenerse en el nivel más bajo que sea razonablemente posible, teniendo en cuenta factores económicos y sociales.”* Este criterio es denominado internacionalmente ALARA: As Low As Reasonably Achievable (tan baja como razonablemente sea alcanzable).
- 3) Limitación de la dosis de exposición: *“la suma de las dosis recibidas procedentes de todas las practicas pertinentes no sobrepasará los limites de dosis establecidos en el presente título para los trabajadores expuestos, los aprendices, los estudiantes y los miembros del público”.* Los límites establecidos en la UE aparecen en la tabla siguiente.

150

DOSIS MÁXIMAS EFECTIVAS (EQUIVALENTES EN mSv) ESTABLECIDAS EN LA UNIÓN EUROPEA				
Zona de exposición	Exposición ocupacional	Exposición en aprendices y estudiantes (16-18 años)	Exposición ocupacional en embarazo	Miembros del público
Global (máximo a 5 años y anual)	100/50	6/6	1 (durante el embarazo)	1/1
Cristalino	150	50	-	15
Piel (promedio en 1 cm ² de piel)	500	150	-	50
Manos, antebrazos, pies y tobillos	500	150	-	-

✓ Protección ocupacional.

En el artículo 17 de la Directiva 96/29 Euratom, de 29 de mayo, se establece:

La protección operacional de los trabajadores expuestos se basará, en particular, en los principios siguientes:

- a) evaluación previa para determinar la naturaleza y magnitud del riesgo radiológico para los trabajadores expuestos y aplicación de la optimización de la protección radiológica en todas las condiciones laborales;
- b) clasificación de los lugares de trabajo en diferentes zonas, en su caso, en relación con una evaluación de las dosis anuales previstas y de la probabilidad y magnitud de exposiciones potenciales;
- c) clasificación de los trabajadores en diferentes categorías;
- d) aplicación de disposiciones y medidas de control y vigilancia relativas a las diferentes zonas y a las diferentes condiciones de trabajo, incluida, en su caso, la vigilancia individual;
- e) vigilancia médica.

Todos los lugares de trabajo en los que exista una posibilidad de exposición a las radiaciones ionizantes superior a 1 mSv por año o una dosis equivalente a un décimo de los límites para el cristalino, la piel y las extremidades, deberán estar convenientemente señalizados. La clasificación en zonas se realiza en dos categorías

- Zona vigilada: en la que no es probable recibir una dosis equivalente comprendida entre uno y tres décimos de la dosis máxima efectiva. La señalización incluye un trébol gris-azulado. Se debe realizar dosimetría de área.
- Zona controlada: en la que no es improbable recibir una dosis equivalente superior a tres decimos de la dosis máxima efectiva. La señalización incluye un trébol verde. Es obligatorio el uso de dosímetros personales. Dentro de las zonas controladas se pueden establecer otras dos subcategorías:
 - a) Zona de acceso prohibido: cuando en una sola irradiación puede sobrepasarse el límite anual. Se señala con un trébol rojo.
 - b) Zona de permanencia limitada: cuando exista riesgo de recibir una dosis superior a la máxima anual. Se señala con un trébol amarillo.

CLASIFICACIÓN DE ZONAS RADIOLÓGICAS

ZONA	SEÑALIZACIÓN	RIESGO RADIOLÓGICO
Vigilada	Trébol gris azulado	Irradiación externa. Contaminación. Conjunto
Controlada	Trébol verde	Irradiación externa. Contaminación. Conjunto
Permanencia limitada	Trébol amarillo	Irradiación externa. Contaminación. Conjunto
Permanencia reglamentada	Trébol naranja	Irradiación externa. Contaminación. Conjunto
Acceso prohibido	Trébol rojo	Irradiación externa. Contaminación. Conjunto

152





“Si en cualquiera de las zonas existiera solamente riesgo de exposición externa se utilizará el trébol general de la zona bordeado de puntas radicales; si existiera riesgo de contaminación y el riesgo de exposición externa fuera despreciable se utilizara el trébol general de la zona en campo punteado; y si existiera conjuntamente riesgo de contaminación y de exposición se empleará el trébol general de la zona bordeado de puntas radicales en campo punteado”

La clasificación de los trabajadores expuestos es la siguiente:

- Categoría A: aquellos trabajadores expuestos que puedan recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv al año, o una dosis equivalente superior a tres decimos de los límites de dosis para el cristalino, la piel y las extremidades.
- Categoría B: aquellos trabajadores expuestos que no sean clasificados como trabajadores expuestos de la categoría A.

✓ Protección de la población:

Los artículos 44 y 45 de la Directiva 96/29Euratom, establecen:

*Artículo 44:***Condiciones para la autorización de prácticas con riesgo de exposición a radiaciones ionizantes para la población**

En circunstancias normales, la protección operacional de la población frente a prácticas supeditadas a una autorización previa significa aplicar todas las disposiciones y controles para detectar y eliminar todos los factores que, durante cualquier operación que implique una exposición a la radiación ionizante, puedan crear un riesgo de exposición de la población que no puede despreciarse desde el punto de vista de la protección radiológica. Dicha protección incluirá las tareas siguientes:

- a) examen y aprobación de los planes de instalaciones que impliquen un riesgo de exposición y de los proyectos de implantación de dichas instalaciones dentro del territorio en cuestión, desde el punto de vista de la protección radiológica;
- b) autorización de puesta en servicio de estas nuevas instalaciones supeditada a que se facilite adecuada protección contra toda exposición o contaminación radiactiva que pueda desbordar el perímetro, teniendo en cuenta, en su caso, las condiciones demográficas, meteorológicas, geológicas, hidrológicas y ecológicas;
- c) examen y aprobación de los planes de evaluación de los efluentes radiactivos. Estas tareas se llevarán a cabo de conformidad con las normas establecidas por las autoridades competentes según la importancia del riesgo de exposición de que se trate.

*Artículo 45:***Estimaciones de las dosis recibidas por la población**

Las autoridades competentes:

- a) garantizarán que las estimaciones de las dosis relativas a las prácticas a las que se refiere el artículo 44 se realizarán de la forma más realista posible para el conjunto de la población y para grupos de referencia de la población, en todos los lugares donde tales grupos puedan existir;
- b) decidirán sobre la frecuencia de las evaluaciones y tomarán todas las medidas necesarias para identificar los grupos de referencia de la población, teniendo en cuenta las vías efectivas de transferencia de las sustancias radiactivas;

Artículo 45 (cont.):

- c) garantizarán que, teniendo en cuenta los riesgos radiológicos, las estimaciones de las dosis recibidas por la población incluyan:
- la evaluación de las dosis debidas a radiación externa, con la indicación, según el caso, de la calidad de las radiaciones de que se trate,
 - la evaluación de la incorporación de radionucleidos, con la indicación de la naturaleza de los radionucleidos y, en caso necesario, sus estados físicos y químicos, así como la determinación de la actividad y de las concentraciones de dichos radionucleidos,
 - la evaluación de las dosis que los grupos de referencia de la población puedan recibir y especificación de las características de dichos grupos;
- d) obligarán a conservar los registros relativos a las mediciones de la exposición externa y a las estimaciones de la incorporación de radionucleidos y de la contaminación radiactiva, así como los resultados de la evaluación de las dosis recibidas por los grupos de referencia y por la población.

❖ Radiaciones no ionizantes:

Incluyen las radiaciones electromagnéticas de longitud de onda inferior a 100 nm (con energía inferior a la mínima energía de ionización de 13,6 eV). Dentro de este grupo hallamos: radiaciones ópticas (ultravioletas A y B, luz visible, infrarrojos) y ondas de radiofrecuencia (microondas, TV/Radio y radiaciones de extrema o ultra baja frecuencia- ELF- como los campos asociados a las líneas de alta tensión).

➤ Mecanismos probables de su acción biológica.

Los mecanismos de acción de las radiaciones electromagnéticas no ionizantes sobre los seres vivos son todavía pocos comprendidos. En general, se acepta la existencia de dos tipos de efectos: térmicos y no térmicos. Los efectos térmicos están relacionados con la aparición de corrientes eléctricas inducidas generadas por el componente magnético de las radiaciones, mientras que los no-térmicos son la consecuencia de la interacción directa de las radiaciones electromagnéticas con los organismos, por ejemplo, los efectos fotoquímicos sobre la retina.

Los efectos térmicos se producen cuando la densidad de potencia o irradiancia, magnitud que mide la potencia radiante por unidad de área (W/m^2), es elevada. Los

efectos no- térmicos parecen relacionarse con la energía fotónica de la radiación (energía específicamente asociada a la frecuencia de la radiación).

Una radiación alta provoca quemaduras, necrosis de tejidos, alteraciones nerviosas y vasculares, lesiones dérmicas y oculares. Los efectos no-térmicos pueden presentar diferentes mecanismos de actuación hasta ahora poco conocidos; algunas hipótesis sugeridas son la resonancia molecular, fenómenos magnéticos de actuación hasta ahora pocos conocidos; algunas hipótesis sugeridas son la resonancia molecular, fenómenos magnéticos e interacciones fotoquímicas con biomoléculas. Por otra parte, la relación entre las radiaciones electromagnéticas no ionizantes con las alteraciones genéticas y el cáncer son cuestionables dada la disparidad de resultados de los estudios realizados.

➤ Radiaciones ultravioleta (UV).

Su penetración es limitada, siendo sus órganos diana la piel y la cornea ocular. Los UV cercanos a la luz visible también afecta al cristalino. Los ultravioletas C (más lejanos al espectro visible) presentan un componente ionizante (longitud de onda < 100 nm) pero son rápidamente absorbidos por el aire, por lo que no presentan un peligro real con los niveles habituales de radiación UV. Con dosis elevadas de exposición se observan signos como eritema, quemaduras solares, conjuntivitis y fotoqueratitis. La exposición crónica se relaciona con la aparición de cataratas, cáncer de piel (epiteliomas y melanomas) y alteraciones de la inmunidad.

Ciertos factores como la naturaleza “aplazada” de los síntomas tras las exposición y la existencia de numerosos agentes fotosensibilizantes (fármacos, fotoalergenos, etc.,) incrementan el riesgo de patologías asociadas a la exposición por UV.

Fuentes habituales de UV son el sol, las lámparas de vapor de mercurio y de cuarzo, los arcos de soldadura y los láseres UV.

➤ Luz visible.

El único efecto patológico importante de la luz visible es la quemadura de la retina producida por sobreexposición a intensidades lumínicas elevadas, como la denominada “ceguera de la nieve”. Otros efectos menos frecuentes son la inducción de estados epilépticos debida a la luz pulsante (en personas predispuestas) o la alteración de los ritmos circadianos, como la que se produce en el denominado síndrome del huso horario, o conjunto de alteraciones hormonales y nerviosas producidas en los viajeros en las horas siguientes a un vuelo transcontinental.

➤ Infrarrojos (IR).

Los rayos infrarrojos se perciben en forma de calor, lo que representa un mecanismo de advertencia a la sobreexposición. Las lesiones más características provocadas por los rayos IR son la sequedad ocular y las cataratas (patología profesional típica de los sopladores de vidrio).

Las fuentes típicas de IR son el sol, los hornos de todo tipo, los procesos de fabricación del vidrio, la industria metalúrgica, los láseres IR y las lámparas de calor.

➤ Láser.

Los láseres son dispositivos que emiten radiaciones ópticas coherentes (UV, visible e IR) y que se caracterizan por ser monocromáticas y capaces de generar una alta densidad de potencia.

Los efectos del láser dependen del tipo de radiación emitida y de la energía transferida. Las lesiones típicas consisten en alteraciones de la piel como quemaduras y afectación de diversas estructuras oculares: los UV pueden lesionar térmica y fotoquímicamente el cristalino, los visibles e IR la retina. Las emisiones de láser pulsante de alta intensidad son particularmente peligrosas por la posibilidad de destruir la retina y la coroides (tejido de parte posterior del ojo).

CLASIFICACIÓN DE LOS LÁSERES		
Clase	Potencia máxima (mW)	Características
1	0,5	Visible. No se requieren medidas especiales de protección
2a	1	Visible. Tipo 2 con exposición segura de los ojos hasta 1000 s
2	1	Visible. Evitar mirar el haz de luz
3a	5	Visible. Limitación de exposición ocular
3b	500	Todas las frecuencias. No exposición ocular
4	> 500	Todas las frecuencias. No exposición ocular ni dérmica

Fuente: Norma ANSI Z136.1

➤ Radiofrecuencias (microondas, radio, TV y telefonía móvil).

Las radiofrecuencias penetran más profundamente que las radiaciones ópticas y, por tanto, pueden producir afectación de órganos internos. Los efectos térmicos más típicos incluyen: estrés térmico, reducción del número de espermatozoides, teratogénesis, alteraciones cardiovasculares y lesiones oculares (cataratas y cornea). Los efectos no-térmicos detectados en la experimentación animal son alteraciones neuro-endocrinas, trastornos de comportamiento y depresión inmune; en humanos se ha documentado (especialmente en la literatura médica rusa) la existencia de un síndrome denominado “enfermedad de microondas” caracterizado por dolor de cabeza, irritabilidad, insomnio, fatiga y otros signos de tipo neurasténico. No existen evidencias concluyentes en humanos sobre la aparición de cáncer o leucemia, aunque algunos estudios relativos a radiofrecuencias generadas por estaciones de radio y TV, así como a las producidas por teléfono parecen iniciar un efecto carcinogénico, posiblemente como factor promotor que actuaría de manera sinérgica con otros factores inductores.

La mayoría de las fuentes de microondas son dispositivos electrónicos “encapsulados” como los hornos microondas, los radares y algunos sistemas de telecomunicación. Desde hace tiempo se sabe que estas ondas son potencialmente peligrosas para la salud, por lo que tradicionalmente han sido controladas mediante normativas técnico-legales. La exposición a microondas suele ser consecuencia de un accidente o un fallo del equipo.

Las radiofrecuencias usadas en telecomunicaciones (radio, TV, telefonía móvil) y en muchos equipos domésticos e industriales no son habitualmente fuentes

controladas, ya que hasta hace relativamente muy poco tiempo no se había sospechado que pudieran ser origen de ninguna patología conocida. Por tanto, la exposición a este tipo de frecuencias es mucho mayor que la atribuible a las microondas. En previsión de los posibles efectos de estas radiaciones, diversos organismos de normalización internacional (ENSI, OSHA, IRPA), han desarrollado estándares de emisión para radiofrecuencias, pero con diferencias derivadas de los resultados tan variables obtenidos en los estudios científicos realizados hasta la fecha. En un intento por aclarar estas discrepancias y llegar a una normalización de los estándares, la UE está desarrollando un programa de investigación sobre los efectos biológicos de los campos electromagnéticos. (Programa COST 244-Biomedical Effects of Electromagnetic Fields).

➤ Campo electromagnéticos de extremada baja frecuencia (ELF)

Los campos de extremada baja frecuencia (ELF) son campos electromagnéticos de frecuencias inferiores a 3 000 Hz. Son de particular interés las frecuencias de 60 y 50 Hz, características de la corriente alterna en EEUU y Europa, respectivamente. Aunque estas ondas están incluidas dentro del grupo de las radiofrecuencias, sus bajas frecuencias obligan a tratar por separado los campos eléctrico y magnético que las constituyen; esta circunstancia y la exposición casi universal a este tipo de campos hace que su estudio se realice de manera aislada del resto de radiofrecuencias.

Los efectos de este tipo de campos electromagnéticos son objeto de controversia en la comunidad científica desde que en los años 60 se detectaron problemas de salud en trabajadores de una empresa eléctrica soviética. Desde 1975, algunos estudios de laboratorio realizados en animales y líneas celulares indicaban que los campos ELF podían producir efectos biológicos con niveles más bajos de lo esperado. Aproximadamente por esta época se realizaron estudios de exposición ocupacional y comunitaria a los campos producidos por líneas eléctricas de alta tensión, hallándose una correlación positiva con la aparición de leucemia en los niños y otros tipos de patologías malignas en adultos. La ansiedad generada por las conclusiones de estos y otros estudios similares obligaron a la creación de numerosos comités de investigación en muy diversos países del mundo. Las conclusiones de estos estudios,

aún hoy en día, siguen siendo controvertidas, contradictorias, no reproducibles en algunos casos o no extrapolables desde la investigación animal al ser humano. Esta situación ha favorecido la aparición de toda una serie de publicaciones pseudo-científicas, en las que con frecuencia se entremezclan conceptos científicos con temas tan variopintos como la filosofía oriental, el naturismo o la energía orgónica, lo cual incrementa todavía más la ansiedad y el desconcierto en ciertos grupos de población.

Los estudios más recientes como el publicado por la Academia de las Ciencias norteamericana, llegan a las siguientes conclusiones:

- La relación entre las líneas de alta tensión y la leucemia infantil se considera estadísticamente significativa, con un riesgo relativo medio de 1,5.
- Los campos magnéticos medidos en este tipo de líneas eléctricas no justifican el desarrollo de otras leucemias ni de otros tipos de cáncer y por tanto, se desestiman como causa de estas patologías.
- El mecanismo que relaciona la exposición a estos campos ELF y el desarrollo de la leucemia es actualmente desconocido.
- En su conjunto, no existen evidencias suficientes que apoyen la hipótesis de que los campos ELF asociados a líneas eléctricas produzcan teratogénesis, alteraciones del comportamiento o cáncer, con excepción de la leucemia infantil.
- Los estudios in vitro realizados con exposición a 50-60 Hz y niveles de energía y campo magnético similares a los hallados en viviendas típicas, no producen ningún afecto medible en las células.
- Campos magnéticos con densidad de flujo superior a 50 uT producen cambios metabólicos y genéticos en las células, pero estos niveles son cientos de veces superiores a la exposición media de un individuo.

EJEMPLO DE VALORES TÍPICOS DE EXPOSICIÓN A CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS

Fuente	Campo eléctrico (kV/m)	Campo magnético (μT)
«Corredor» de una línea de alta tensión 500 kV	1 - 10	1 - 100
Manta eléctrica	0,1 - 5	0,5 - 10
Tostadora eléctrica	0,005 - 0,1	0,2 - 2
Valor medio en vivienda	0,001 - 0,01	0,01 - 1

161

- Los estudios in vivo realizados en animales de experimentación no han detectado relación con cáncer, alteraciones del desarrollo o teratogénesis.
- Los campos magnéticos producen algunos cambios metabólicos y hormonales en los animales, como inhibición de la glándula pineal y reducción de la hormona melatonina en sangre. Estas variaciones no se relacionan con alteraciones patológicas observables en los animales. Tampoco existen evidencias de que e estos efectos sean reproducibles en humanos.

➤ Protección contras las radiaciones no ionizantes.

El proyecto CEM- Campos ElectroMagnéticos- de la Organización Mundial de la Salud (OMS) es actualmente la referencia científica técnica más importante sobre efectos para la salud de las radiaciones no ionizantes. En este proyecto, dirigido por la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (CIPRNI), participan más de 40 naciones y gran diversidad de organizaciones relevantes en este campo.

El objetivo fundamental de este proyecto es asegurar que la exposición humana a los campos electromagnéticos no tenga efectos perjudiciales para la salud, que los

aparatos generadores de estos campos sean inocuos y que su utilización no cause interferencias eléctricas con otros aparatos. A partir de lo anterior, se han adoptado diversas directrices y normas internacionales, elaboradas después de que grupos de científicos hayan analizado todas las publicaciones científicas pertinentes.

Con independencia de los diversos estándares y niveles máximos de exposición recomendados por la CIPRNI, son de aplicación las medidas básicas de protección, expresadas previamente, en relación con las radiaciones ionizantes. Ante la falta de evidencias concluyentes sobre muchos de los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes, cabe plantearse una postura conservadora basada en la limitación de la exposición a lo estrictamente necesario, teniendo en consideración los principios básicos de:

- ✓ Limitación del tiempo de exposición.
- ✓ Alejamiento de la fuente.
- ✓ Apantallamiento/blindaje de la fuente emisora.

LÍMITES DE REFERENCIA PARA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS			
Rango de frecuencias	Campo eléctrico (V / m)	Campo magnético (A / m)	Densidad de flujo magnético (μ T)
< 1 Hz	-	$1,63 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$
1-8 Hz	20 000	$1,63 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$
8-25 Hz	20 000	$2 \cdot 10^4$	$2,4 \cdot 10^4$
25 Hz - 0,82 kHz	500	20	25
0,82 - 65 kHz	610	24,4	30,7
65 kHz - 1 MHz	610	1,6	2,0
1 - 10 MHz	610	1,6	2,0
10 - 400 MHz	61	0,16	0,2
400 - 2 000 MHz	3	0,008	0,01
2 - 300 GHz	137	0,36	0,45

Fuente: Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones No Ionizantes. (CIPRNI) 1998.

A

péndice

ÍNDICE TEMÁTICO DE LEGISLACIÓN APLICABLE A LA CONTAMINACIÓN

MATERIA	REFERENCIAS DEL ÍNDICE CRONOLÓGICO
AERONAVES	[ES10] [ES16] [ES22]
AMIANTO	[ES17]
APARATOS DE USO DOMÉSTICO	[ES19]
AZUFRE	[CE21] [CE30] [CE32] [ES04] [ES21] [ES30]
BOSQUES	[CE02] [CE12] [CE16] [CE31] [CE34]
CAFÉ	[CA-CA06]
CALIDAD DEL AIRE - PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE ATMOSFÉRICO	[CE07] [ES01] [ES02] [ES06] [CA-AN02] [CA-AR01] [CA-CA01] [CA-CA02] [CA-CA04] [CA-CA05] [CA-CA07] [CA-GA01] [CA-GA02] [CA-GA05]
CAPA DE OZONO	[CE06] [CE15] [CE17] [CE19] [CE26] [CE38] [CE41] [CE42] [CE43] [CE44] [ES26] [ES29] [ES31] [ES33] [ES34]
CLOROFLUOROCARBUIROS	[CE25] [CE39] [CE43]
COMBUSTIBLES	[CE23] [CE24] [CE30] [ES08] [ES11] [ES12] [ES25] [ES32]
COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV) Y BENCENO	[CE28] [CE45] [ES25] [ES28]
CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	[CE09] [CE36] [CE47] [ES10] [ES13] [ES16] [ES19] [ES22] [CA-AN01] [CA-EX01] [CA-GA03] [CA-GA04] [CA-IB01] [CA-MA01] [CA-MU01]
CONTAMINACIÓN TRANSFRONTERIZA	[CE21] [ES28] [ES30]
DIÓXIDO DE CARBONO	[CE27] [CE29] [CE35]
DIOXINAS Y FURANOS	[CE14] [CE33]
INCINERACIÓN E INSTALACIONES DE COMBUSTIÓN	[CE14] [CE18] [CE46] [ES03] [ES18] [ES20] [ES27] [CA-CA03]
MAQUINARIA DE CONSTRUCCIÓN	[ES13]
MONÓXIDO DE CARBONO	[CE45]
MOTORES Y VEHICULOS A MOTOR	[CE09] [CE11] [CE13] [CE20] [CE22] [CE27] [CE35] [CE36] [CE37] [CE40] [CE48] [ES05] [ES07] [ES15] [ES23]
ÓXIDOS DE NITRÓGENO	[CE32] [ES09]
OZONO	[ES24] [CA-MA02]
PARTÍCULAS	[CE32] [ES04] [ES14] [ES21]
PLOMO	[CE32] [ES09] [ES12]

Para estar al día en los cambios que se producen en materia legislativa medioambiental, así como actualización de datos, estudios, etc.. recomendamos entrar en la web de GREENPEACE ESPAÑA, <https://es.greenpeace.org/es/> dónde se podrán encontrar las noticias actualizadas así como informes y documentos realizados por la ONG.

BIBLIOGRAFÍA:

- Contaminación atmosférica, Derek Elson. ED. Cátedra.
- Apuntes de la signatura de Contaminación atmosférica de la Universidad de Granada.
- El Medio ambiente. López Bonillo, Diego. ED: Cátedra.
- Agujero de ozono y efecto invernadero: influencia en la salud y medio ambiente. Universidad de Granada.
- Calor letal: la carrera contra el efecto invernadero.
- Apuntes de toxicología y Salud pública-Ciencias ambientales, 2010.
- Daños a la salud por contaminación atmosférica.
- Revolución ambiental: estudios sobre la contaminación y protección del medio ambiente. Andreotti, María Rosa.