

4.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

EL AIRE ES UN RECURSO LIMITADO

Una atmósfera contaminada puede dañar la salud de las personas y afectar a la vida de las plantas y los animales. Pero, además, los cambios que se producen en la composición química de la atmósfera pueden cambiar el clima, producir lluvia ácida o destruir el ozono, fenómenos todos ellos de una gran importancia global. Se entiende la urgencia de conocer bien estos procesos y de tomar las medidas necesarias para que no se produzcan situaciones graves para la vida de la humanidad y de toda la biosfera.

- El aire es un recurso limitado que debemos utilizar evitando alteraciones en su calidad que pongan en peligro el equilibrio biológico del sistema Tierra.
- La contaminación atmosférica es un problema antiguo que se ha agravado en los últimos años como consecuencia del desarrollo industrial y de las actividades urbanas.
- Podemos definir la contaminación como la introducción en la atmósfera, por el hombre, directa o indirectamente, de sustancias o de energía que tengan una acción nociva de tal naturaleza que ponga en peligro la salud del hombre, que cause daños a los recursos biológicos y a los ecosistemas, que deteriore los bienes materiales y que dañe o perjudique las actividades recreativas y otras utilidades legítimas del medio ambiente.
- La contaminación del aire y la contaminación sonora constituyen en su conjunto la contaminación atmosférica.
- Atendiendo a su origen, podemos distinguir dos tipos de fuentes de contaminación: naturales, consecuencia de volcanes e incendios naturales, y artificiales o antropogénicas. Las emisiones de origen natural son más elevadas a nivel global, mientras que las de origen humano lo son a nivel local o regional. (tablas 8.1 y 8.2, pág. 230)
- Las principales actividades humanas generadoras de contaminación son:
 - El uso de calefacciones y otros aparatos que emplean combustibles en los hogares.
 - El transporte, especialmente el automóvil y el avión.
 - Las industrias cementeras, siderometalúrgicas, papeleras y químicas y las centrales térmicas.

LOS CONTAMINANTES SON SUSTANCIAS QUE APARECEN EN LA ATMÓSFERA EN CANTIDADES ANORMALES

- Las sustancias químicas y formas de energía que en concentraciones determinadas pueden causar molestias, daños o riesgos a personas y resto de seres vivos, o bien ser origen de alteraciones en el funcionamiento de los ecosistemas, en los bienes materiales o en el clima, se denominan contaminantes.
- La cantidad de un contaminante se suele expresar como una concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ o en partes por millón (ppm).
- Algunos de los principales contaminantes atmosféricos son sustancias que se encuentran de forma natural en la atmósfera. Los consideramos contaminantes cuando sus concentraciones son notablemente más elevadas que en la situación normal.
- Los contaminantes primarios son aquellos procedentes directamente de las fuentes de emisión. Los contaminantes secundarios se originan en el aire por interacción entre dos o más contaminantes primarios, o por sus reacciones con los constituyentes normales de la atmósfera.

4.2 CONTAMINANTES BIOLÓGICOS DEL AIRE

EL POLEN ES EL PRINCIPAL CONTAMINANTE BIOLÓGICO

- Los contaminantes biológicos presentes en el aire pueden ser de dos tipos:
 - Microorganismos que pueden ser transmitidos por el aire, aunque no puedan desarrollarse en él. Son virus, bacterias u hongos que causan enfermedades infecciosas

- Sustancias o partículas procedentes de animales o plantas, como las heces de algunos artrópodos o el polen de determinadas plantas. Pueden producir enfermedades respiratorias o alergias.
- El polen de las plantas anemógamas (que utilizan el viento como medio de polinización), como gramíneas (trigo, cebada, centeno, ...), oleáceas (olivos) y urticáceas (ortigas), es el principal contaminante biológico del aire, aunque sus efectos se limiten al periodo de floración.
- El principal efecto del polen sobre la salud es el desarrollo de síntomas alérgicos: asma, rinitis y conjuntivitis.
- En España, la alergia al polen afecta a un 20% de la población, aunque esta cifra va en aumento. La contaminación atmosférica, que afecta a las vías respiratorias, y los hábitos higiénicos en los países desarrollados, que reducen el contacto con agentes patógenos que favorecen el desarrollo del sistema inmunitario, parecen ser las causas de la cada vez mayor incidencia de este tipo de afecciones.
- Las principales medidas preventivas para reducir los efectos de este tipo de contaminación son:
 - Evitar el uso de especies alérgicas como especies ornamentales o para formar setos.
 - Protegerse mediante el uso de mascarillas y mediante inmunoterapia específica (vacunación contra el polen las especies a las que se es más sensible).
 - Otras medidas, como instalar filtros antipolen en el automóvil y en la vivienda, reducir las salidas al campo en primavera, evitar los ambientes secos (mediante el uso de humidificadores) y no fumar.

4.3 CONTAMINANTES FÍSICOS DEL AIRE

LA CONTAMINACIÓN SONORA PROVOCA ALTERACIONES FISIOLÓGICAS, PSÍQUICAS Y DE OTRO TIPO

- Se entiende por ruido todo sonido no deseado o molesto, capaz de alterar el bienestar fisiológico o psicológico de los seres humanos.

La intensidad sonora se mide en belios o en su submúltiplo el decibelio (dB). El ruido empieza a producir efectos dañinos sobre las personas al sobrepasar los 65 dB; por encima de 120 dB la sensación es dolorosa. Además de la intensidad, hay que tener en cuenta la frecuencia del sonido, ya que resultan más molestos los ruidos en los que predominan las frecuencias altas (más agudos).

- En las últimas décadas la cantidad de ruido se ha incrementado en gran medida en los países industrializados como consecuencia del aumento de la densidad de población urbana, la mecanización en la mayoría de las actividades y de la utilización creciente de los vehículos a motor.
- Las principales fuentes de ruido son la industria (por la maquinaria empleada), los medios de transporte (automóviles, motocicletas, camiones, trenes, barcos o aviones) y las construcciones de edificios o de obras públicas. También hay que considerar los ruidos producidos en el interior de los edificios (por los aparatos de radio y televisión u otros electrodomésticos, tuberías, etc.) y en locales comerciales y de ocio.
De todas las fuentes de ruido citadas cabe destacar a los medios de transporte. Los trenes, barcos y aviones (especialmente estos últimos) provocan un problema importante pero local, en cambio el problema generado por el tráfico rodado está mucho más extendido. El nivel de ruido provocado por el tráfico rodado depende de tres factores: velocidad, porcentaje de vehículos pesados y características de la vía (anchura de la calzada, estado y tipo del pavimento, edificaciones circundantes, etc.).
- La contaminación acústica puede afectar a la salud física y psicológica de las personas de varias maneras:
 - Una exposición continua y prolongada al ruido provoca una pérdida de agudeza auditiva o incluso sordera.
 - Sobre el sistema nervioso se pueden producir desde efectos pasajeros como irritación, fatiga, dolor de cabeza o falta de concentración, hasta enfermedades más graves como depresiones, ansiedad, estrés o insomnio.
 - Otros posibles efectos afectan al sistema cardiovascular (aumento del ritmo cardíaco y de la presión arterial), al control muscular, al sentido del equilibrio, etc.

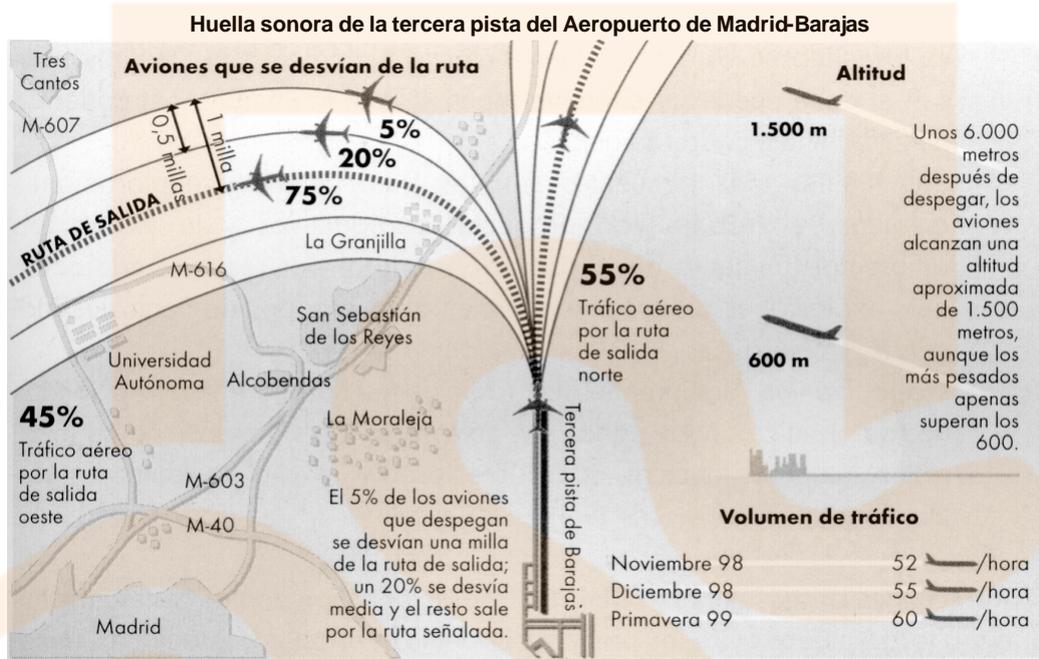
LAS MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS PERMITEN REDUCIR EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN SONORA

- Entre las medidas preventivas podemos destacar:
 - Planificación del uso del suelo: ubicación de las fuentes de ruido lejos de las zonas residenciales.
 - Elaboración de estudios de impacto ambiental antes de tomar decisiones sobre planificación de usos del suelo.

- Ubicación y distribución adecuada de los edificios.
- Insonorización de los edificios e instalación de pantallas acústicas.
- Equipar motores y maquinaria con sistemas de reducción de ruido.
- Elaboración de planes de educación y de concienciación ciudadana.

- Como medidas correctoras se pueden citar:

- Elaboración de normas legislativas que regulen los niveles de ruido de las fuentes de emisión, estableciendo las tasas o las multas que se aplicarán por su incumplimiento.
- Limitar el nivel de actividad o reducir la potencia sonora de las fuentes.
- Modificación del trazado de las vías de circulación.
- Insonorización de edificios y colocación de barreras acústicas.



LAS RADIACIONES IONIZANTES PUEDEN AFECTAR AL MATERIAL HEREDITARIO

- Se denominan así porque pueden ionizar átomos o moléculas de la materia sobre la que actúan, alterando su estructura. En los seres vivos pueden afectar a los procesos biológicos, provocar malformaciones (al afectar al material genético), cáncer, etc.
- Se originan de forma natural en los procesos de transformación de los materiales radiactivos de la corteza terrestre y en las radiaciones cósmicas. De forma artificial se originan en ciertas actividades médicas, en centrales nucleares y en actividades de investigación.
- La radiación alfa queda frenada en las capas exteriores de la piel, y no es peligrosa, a menos que se introduzca directamente a través de heridas, alimentos, etc. La radiación beta es más penetrante, introduciéndose uno o dos centímetros en los tejidos vivos. La radiación gamma, o radiación electromagnética de alta energía, es capaz de penetrar profundamente en los tejidos; sin embargo, libera menos energía en el tejido que las alfa o beta. Los rayos X son ondas electromagnéticas que poseen también un alto poder de penetración.
- La radiación ultravioleta forma parte del llamado espectro electromagnético, con escaso poder ionizante, debido a su baja energía. En la clasificación de las radiaciones, se encuentran situadas a caballo con las no ionizantes. Las fuentes de radiación ultravioleta son naturales (el Sol) y artificiales (hospitales, industrias, cosmética, etc). La radiación UVC (290 a 200 nm), la más peligrosa para la salud por su mayor energía, no alcanza la superficie terrestre, ya que queda retenida por la capa de ozono en la estratosfera. La radiación natural que nos llega es por tanto UVA (320 a 400 nm) y UVB (320 a 290 nm). Estimaciones recientes han calculado que por cada reducción de un 1 % en la capa de ozono, la radiación UVB/UVC aumentará en un 2 % y el cáncer de piel en un 2 a 6 %.

LAS RADIACIONES NO IONIZANTES TAMBIÉN PUEDEN AFECTAR A LA SALUD DE LAS PERSONAS

- Los campos electromagnéticos son fenómenos naturales: las galaxias, el Sol, las estrellas emiten radiación de baja densidad, y en la atmósfera existen cargas eléctricas que generan campos magnéticos a los que estamos

sometidos permanentemente, y que se hacen mucho más intensos, por ejemplo, durante las tormentas eléctricas.

- A estos campos eléctricos y magnéticos naturales se han unido en el último siglo un amplio número de campos artificiales, creados por maquinaria industrial, líneas eléctricas, electrodomésticos, etc. que nos exponen a diario a una radiación adicional. Con alguna excepción, toda esta radiación artificial es mucho más débil que los campos electromagnéticos naturales.
- La radiación de alta frecuencia y las microondas provocan vibraciones moleculares, produciendo calor, con lo que pueden producir quemaduras a partir de una determinada cantidad de radiación absorbida.
- La radiación de frecuencias extremadamente bajas se consideraba inocua. Está demostrado, sin embargo, que puede producir cambios eléctricos en la membrana de todas las células del cuerpo, alterando los flujos celulares de algunos iones, sobre todo el calcio, lo que podría tener efectos biológicos importantes. Se han publicado estudios en las últimas dos décadas, citando una posible relación de los campos electromagnéticos de baja energía con el origen de determinados cánceres, sobre todo leucemias. También se han intentado relacionar con alteraciones del aparato reproductor, neurológico y cardiovascular, y con malformaciones fetales.

No EXISTE CONCIENCIA EN LA POBLACIÓN SOBRE LOS EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

- La contaminación lumínica se debe al resplandor que se produce por la reflexión y difusión de la luz artificial en los gases y en las partículas del aire, debido al uso inadecuado de la iluminación, principalmente en las vías públicas.
- Desde el punto de vista económico, la contaminación lumínica supone un despilfarro energético. Además de esto, la iluminación inadecuada impide la observación del cielo nocturno en un amplio radio alrededor de las grandes urbes, tanto a los aficionados a la astronomía como a los observatorios astronómicos, que cada vez tienen mayores dificultades para encontrar una ubicación adecuada.
- Los efectos sobre la flora y la fauna todavía no son bien conocidos, pero existen ya estudios que muestran su incidencia en las aves, los quirópteros, los insectos y en las plantas que dependen para su reproducción de los insectos nocturnos.
- Las medidas correctoras se centran fundamentalmente en la planificación y diseño adecuados de los sistemas de iluminación viaria, monumental y publicitaria.

4.4 CONTAMINANTES QUÍMICOS DEL AIRE

EL GRADO DE CONTAMINACIÓN DEPENDE DE FACTORES METEOROLÓGICOS, GEOGRÁFICOS Y TOPOGRÁFICOS

Para un elemento contaminante, la tasa sostenible de emisión no debe ser mayor que la tasa a la cual el elemento contaminante pueda ser absorbido, reciclado o esterilizado por el medio ambiente.

- La cantidad de cada contaminante vertida a la atmósfera en un periodo de tiempo determinado se conoce como nivel de emisión. La inmisión es la transferencia de contaminantes del aire desde la atmósfera libre a un receptor tal como un ser humano, planta o edificio, en un tiempo determinado.
- Los contaminantes emitidos pueden dispersarse por la atmósfera, transformarse en otros contaminantes secundarios, depositarse o ser absorbidos por los seres vivos.
- Los receptores de los contaminantes, que los almacenan o los eliminan, se conocen también como sumideros. Si el nivel de inmisión no supera ciertos límites, estos sumideros pueden contribuir a la autodepuración atmosférica.
- La dispersión de los contaminantes reduce los niveles de inmisión. Si el nivel de emisión es muy alto o si existen factores que dificulten la dispersión de los contaminantes aumentan los niveles de inmisión, disminuye la calidad del aire y se originan efectos negativos en los distintos receptores (el hombre, otros animales, vegetales y materiales). Los niveles de inmisión admisibles vienen determinados por la legislación vigente.
- Existen diversos factores que pueden favorecer o dificultar la dispersión de los contaminantes, entre ellos podemos destacar:
 - La naturaleza del contaminante: las partículas se depositan con más facilidad que los gases.

- Las características de la emisión: altura del foco y temperatura y velocidad de emisión; estos factores pueden aumentar la probabilidad de superar las capas de inversión térmica.
 - Las situaciones anticiclónicas dificultan la dispersión de los contaminantes y las ciclónicas (borrascas) la facilitan.
 - La variación de la temperatura con la altura: cuando el aire tiene posibilidad de ascender, al disminuir la presión, se expande y, por lo tanto, disminuye su concentración; este es el mecanismo básico de dispersión de los contaminantes. Las situaciones de inversión térmica (una masa de aire cálido se instala sobre otra más fría) impiden el ascenso y dispersión de los contaminantes.
 - La velocidad del viento: cuanto mayor sea, mayor es la capacidad de dispersar los contaminantes.
 - Las precipitaciones arrastran parte de los contaminantes hacia el suelo.
 - La dirección del viento determina la dirección en la que se van a desplazar los contaminantes.
 - La situación geográfica y el relieve: la situación de los relieves en relación con los vientos dominantes puede dificultar la dispersión. Las zonas industriales y urbanas situadas en depresiones son especialmente propicias a inversiones térmicas.
 - La proximidad del mar provoca los sistemas de brisas marinas que, por su carácter cíclico, dificultan la dispersión completa de los contaminantes.
 - La presencia de grandes masas de vegetación puede actuar como sumidero de ciertos contaminantes y favorecer la deposición de partículas.
- Los edificios de las grandes ciudades dificultan la dispersión de los contaminantes al frenar el viento. Además en las ciudades se produce el efecto denominado isla de calor debido al calentamiento del aire provocado por los automóviles y por las calefacciones. Esto favorece la aparición de brisas urbanas cíclicas (figura 8.14, pág. 241) en las que el aire caliente asciende en el centro y el aire frío desciende en la periferia. Todo ello determina la formación de una cúpula de contaminantes sobre la ciudad, especialmente en las situaciones de subsidencia (anticiclónicas).

HAY CINCO GRUPOS DE SUSTANCIAS QUE OCASIONAN MÁS DEL 90% DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

- Los cinco grupos de sustancia que tiene mayor importancia como contaminantes del aire son: los óxidos de carbono, los óxidos de nitrógeno, el dióxido de azufre, los hidrocarburos y las partículas y aerosoles. Otros contaminantes destacables son las dioxinas, los CFCs y el ozono troposférico.

① Óxidos de carbono

El dióxido de carbono (CO_2) desempeña un importante papel en el ciclo del carbono en la naturaleza. Dada su presencia natural en la atmósfera y su falta de toxicidad, no deberíamos considerarlo una sustancia que contamina, sin embargo sí es considerado contaminante porque es el principal responsable del efecto invernadero y además su concentración está aumentando en los últimos decenios por la quema de los combustibles fósiles y de grandes extensiones de bosques, siendo por esto uno de los gases que más influye en el importante problema ambiental del calentamiento global del planeta y el consiguiente cambio climático.

Aunque la mayor parte del monóxido de carbono (CO) presente en la atmósfera es de tipo secundario, ya que procede de la oxidación del metano que se origina por la putrefacción de la materia orgánica, la actividad humana lo genera en grandes cantidades siendo, después del CO_2 , el contaminante emitido en mayor cantidad a la atmósfera por causas no naturales. El CO de origen antrópico es un contaminante primario que procede, principalmente, de la combustión incompleta de la gasolina y el gasoil en los motores de los vehículos. Es tóxico porque envenena la sangre impidiendo el transporte de oxígeno.

Una pequeña proporción del CO se elimina de forma natural por oxidación a CO_2 . Para reducir su emisión se han desarrollado sistemas de reactores de escape para completar el proceso de combustión en los que el CO se convierte en CO_2 y los hidrocarburos en CO_2 y H_2O .

② Óxidos de nitrógeno

El monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2) se suelen considerar en conjunto con la denominación de NO_x . Son contaminantes primarios de mucha trascendencia en los problemas de contaminación. El emitido en más cantidad es el NO, pero sufre una rápida oxidación a NO_2 , siendo este el que predomina en la atmósfera. Tienen una gran trascendencia en la formación del smog fotoquímico, del nitrato de peroxiacetilo (PAN) e influyen en las reacciones de formación y destrucción del ozono, tanto troposférico como estratosférico, así como en el fenómeno de la lluvia ácida al transformarse en ácido nítrico (HNO_3). En concentraciones altas producen daños a la salud y a las plantas y corroen tejidos y materiales diversos. Se producen por oxidación del N_2 atmosférico en las combustiones realizadas a altas temperaturas. De forma natural se originan en los procesos de desnitrificación del suelo y los océanos.

El monóxido de dinitrógeno (N_2O) interviene en la estratosfera en reacciones fotoquímicas que pueden tener influencia en la destrucción de la capa de ozono. También tiene efecto invernadero. Procede fundamentalmente de emisiones naturales (procesos microbiológicos en el suelo y en los océanos) y menos de actividades agrícolas y ganaderas (alrededor del 10% del total).

③ Compuestos de azufre

El Dióxido de azufre (SO_2) es un importante contaminante primario de olor fuerte e irritante. Gran parte de él se convierte en iones sulfato (SO_4^{2-}) que pueden originar fenómenos como el smog sulfuroso (smog clásico) y la lluvia ácida. Más de la mitad del que llega a la atmósfera es emitido por actividades humanas, sobre todo por la combustión de carbón y petróleo y por la metalurgia. En la naturaleza es emitido en la actividad volcánica. Su emisión está disminuyendo en muchos lugares gracias a las medidas adoptadas, como la sustitución en las centrales térmicas de Galicia y Aragón de los carbones españoles (de baja calidad) por combustibles de importación, más limpios.

El SO_2 produce lesiones en las hojas de las plantas, que pueden secarse o caerse antes de tiempo. Los efectos sobre las personas están relacionados principalmente con el sistema respiratorio y con la irritación de las mucosas (especialmente los ojos), aunque requiere concentraciones mayores que las que afectan a las plantas. También provoca el deterioro de materiales, provocando, por ejemplo, agrietamiento de pinturas e incrementando la corrosión de metales.

Algunos otros gases como el sulfuro de hidrógeno (H_2S) son contaminantes primarios, pero normalmente sus bajos niveles de emisión hacen que no alcancen concentraciones dañinas. Se percibe rápidamente por el mal olor que desprende.

④ Compuestos orgánicos volátiles (COV)

Destacan como contaminantes los que tienen entre 1 y 4 átomos de carbono por ser gases a temperatura ambiente. El Metano (CH_4) es el más abundante y más importante de los hidrocarburos atmosféricos. Es un contaminante primario que se forma de manera natural en la descomposición anaerobia bacteriana en zonas húmedas y en fermentaciones en el intestino de seres vivos. Su origen antropogénico está en los procesos de producción, tratamiento, distribución y uso de los combustibles fósiles, en la agricultura del arroz y en la descomposición de materia orgánica en vertederos. Se considera que no produce daños en la salud ni en los seres vivos, pero influye de forma significativa en el efecto invernadero y también en las reacciones estratosféricas.

Otros hidrocarburos presentes en la atmósfera intervienen de forma importante en las reacciones que originan el smog fotoquímico.

⑤ Partículas y aerosoles

Las partículas son sustancias sólidas o líquidas con tamaños que oscilan entre 0,1 y 100 μm dispersas en el aire. Cuando estas partículas son menores de 10 μm reciben el nombre de aerosoles. Los aerosoles se producen natural y artificialmente; entre los naturales se encuentran la sal marina, el polvo y las partículas volcánicas, mientras que los artificiales resultan de la quema de biomasa y combustibles fósiles, entre otras fuentes.

Pueden influir sobre el clima de una manera doble: pueden producir calentamiento al absorber radiación o pueden provocar enfriamiento al reflejar parte de la radiación que incide en la atmósfera. Probablemente contribuyen al calentamiento en las áreas urbanas y siempre contribuyen al enfriamiento cuando están en la alta atmósfera porque reflejan la radiación disminuyendo la que llega a la superficie.

En el hombre provocan problemas respiratorios y en las plantas interfieren en la fotosíntesis.

⑥ Dioxinas y otros compuestos orgánicos

Las dioxinas, los furanos, los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), los bifenilos policlorados (PCB) y otros compuestos orgánicos son compuestos que se caracterizan por ser muy estables químicamente y, por tanto, de difícil destrucción. Algunas de ellas se acumulan en las cadenas tróficas, por lo que, si son tóxicas, son especialmente peligrosas.

Las dioxinas y los furanos proceden de los procesos de fabricación de algunos pesticidas, conservantes, desinfectantes o componentes del papel. También se originan en las combustiones a bajas temperaturas de la gasolina con plomo, plásticos, papel o madera. Algunos son extremadamente tóxicos y se ha comprobado en experimentos con animales de laboratorio que dosis pequeñas pueden producir a largo plazo cáncer, malformaciones congénitas, reducción de la fertilidad y cambios en el sistema inmunitario.

Los PAH son sustancias que se forman en la combustión incompleta del carbón, petróleo, gas y otras sustancias orgánicas. De su peligrosidad se puede decir que es semejante a lo que se ha descrito de dioxinas y furanos.

Los PCB son sustancias sintetizadas por el hombre muy utilizadas por su poder aislante y por no ser inflamables. Se han usado como refrigerantes y lubricantes o en la fabricación de pinturas y plásticos, aunque en muchos países se dejaron de fabricar a finales de la década de 1970. Se sospecha que pueden producir efectos semejantes a los de los anteriores.

Las investigaciones parecen indicar que el hombre soporta todas estas sustancias mucho mejor que otros animales, no obstante son sustancias bajo sospecha y se sigue investigando su peligrosidad.

⑦ Compuestos halogenados

Los Clorofluorocarburos (CFCs) son moléculas formadas por átomos de Cl y F unidos a C. Se han utilizado mucho en los pulverizadores, frigoríficos, disolventes industriales, etc. Son los principales responsables de la destrucción de la capa de ozono.

⑧ Ozono

El ozono (O₃) es la sustancia principal en este grupo, aunque también otros compuestos actúan como oxidantes en la atmósfera. El ozono es un gas de color azulado que tiene un fuerte olor muy característico que se suele notar después de las descargas eléctricas de las tormentas. Es una sustancia que cumple dos papeles totalmente distintos según se encuentre en la estratosfera o en la troposfera.

El Ozono estratosférico es imprescindible para que la vida se mantenga en la superficie del planeta porque absorbe las letales radiaciones ultravioletas que nos llegan del Sol. En cambio el ozono troposférico es un importante contaminante secundario que se forma por reacciones inducidas por la luz solar en las que participan, principalmente, los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos presentes en el aire. Es el componente más dañino del smog fotoquímico y causa daños importantes a la salud, cuando está en concentraciones altas, y frena el crecimiento de las plantas y los árboles.

LA VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE PREVIENE Y REDUCE LOS EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES

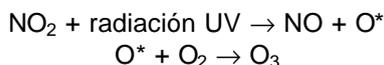
- La legislación española fija los niveles máximos admisibles de emisiones procedentes de actividades industriales y vehículos, estableciendo los criterios de calidad del aire para óxidos de nitrógeno, CO, plomo, cloro molecular, HCl, H₂S y partículas sedimentables.
Para establecer los niveles admisibles la administración se ha basado en estudios de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre la repercusión de diferentes concentraciones de contaminantes en la salud, la vegetación, el medio natural y los monumentos de interés histórico.
- Existen redes de estaciones de vigilancia de la calidad del aire que toman muestras y las analizan, enviando los datos obtenidos a centros de control. Estas redes pueden ser locales, comunitarias o de ámbito mundial. Las redes internacionales controlan la contaminación transfronteriza y las mundiales analizan los datos sobre gases invernadero o del agujero en la capa de ozono.
- Para analizar las muestras recogidas en las estaciones de vigilancia se utilizan equipos automáticos que realizan diversas pruebas físicas y químicas que permiten detectar la presencia de cada uno de los contaminantes objeto de control (tabla 8.10, pág. 251).
- También se puede conocer la calidad del aire de una forma indirecta usando indicadores biológicos. Éstos son organismos que presentan una especial sensibilidad a la presencia de determinados contaminantes. Entre las especies empleadas como bioindicadores de la calidad del aire destacan los líquenes, que son muy sensibles al SO₂, HF y HCl (tabla pág. 286).

[SO ₂] g/m ³	Grado de contaminación	Especie
170 – 150	Muy alto	No se observan
125	Alto	Lecanora
60 – 50	Medio	Xanthoria
40	Escaso	Parmelia
35 – 0	Ausencia	Evernia Ramalina Usnea

4.5 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PROVOCA EFECTOS LOCALES, REGIONALES Y GLOBALES

- Los efectos locales más importantes son los ocasionados por cada uno de los contaminantes y la formación de nieblas contaminantes o smog.
- El smog o niebla contaminada se produce a consecuencia de la acumulación en las capas bajas de la atmósfera de gases contaminantes como el ozono, los óxidos de azufre y nitrógeno, etc. Hay realmente dos tipos de smog: el smog clásico o smog sulfuroso y el fotoquímico. El primero se produce principalmente por la acumulación de dióxido de azufre generado por la combustión de derivados del petróleo, mientras que el segundo se origina por la presencia de gases como el ozono, nitrato de peroxiacetilo (PAN) y otros oxidantes fotoquímicos, que proceden de la fotólisis de los óxidos de nitrógeno.

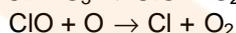
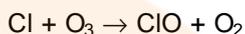


En ausencia de hidrocarburos el O₃ reacciona con el NO para formar de nuevo NO₂, pero en presencia de hidrocarburos los radicales orgánicos oxidados oxidan al NO formando NO₂, con lo que el O₃ se acumula y quedan radicales orgánicos libres.

Los radicales libres reaccionan entre sí y con los contaminantes primarios y forman oxidantes como el PAN (nitrato de peroxiacetilo) y los aldehídos.

El smog se intensifica en situaciones anticiclónicas y especialmente cuando se produce inversión térmica.

- Los contaminantes pueden retornar a la superficie en zonas alejadas de los focos de emisión provocando el efecto que se conoce como contaminación transfronteriza. El mejor ejemplo de este efecto regional de los contaminantes es la lluvia ácida
- La lluvia ácida se origina como consecuencia de los óxidos de azufre y de nitrógeno liberados a la atmósfera en los procesos de combustión de los combustibles fósiles. Durante su transporte por la atmósfera, el SO_2 y el NO_2 y sus productos de oxidación participan en una serie de reacciones complejas en las que se forman ácidos fuertes, principalmente ácido nítrico y ácido sulfúrico que se diluyen en el vapor de agua y finalmente caen a la tierra en forma de lluvia ácida, nieve y niebla (figura 8.23, pág. 247).
Los principales efectos de la lluvia ácida son:
 - La acidificación de lagos (destrucción de ecosistemas acuáticos)
 - Destrucción de los bosques (destrucción de ecosistemas terrestres)
 - Corrosión de metales y descomposición de materiales de construcción
- Los efectos globales son aquellos que afectan a la totalidad del planeta. Dentro de esta categoría se incluyen el agujero en la capa de ozono y el cambio climático global.
- En la estratosfera, las radiaciones ultravioleta procedentes del Sol rompen las moléculas de oxígeno dejando átomos de oxígeno libres que se combinan con otras moléculas de oxígeno y forman ozono. Este ozono actúa como filtro de las radiaciones ultravioleta de alta energía que son perjudiciales para los seres vivos. Los principales culpables de la destrucción de la capa de ozono son los compuestos clorofluorcarbonados (CFCs) sintetizados masivamente para ser usados como propelentes, disolventes y refrigerantes, dado que son totalmente inertes en la baja atmósfera. Al no combinarse en la troposfera, ascienden hasta la estratosfera donde la radiación ultravioleta es capaz de descomponerlos liberando cloro. El cloro puede actuar como catalizador de la transformación del ozono en oxígeno molecular de la siguiente manera:



Quedando cloro libre que puede destruir nuevas moléculas de ozono.

Los óxidos de nitrógeno que se forman en la estratosfera pueden capturar el cloro inactivándolo, sin embargo, a las bajas temperaturas reinantes en los polos estos óxidos de nitrógeno se hielan y no pueden ejercer esta acción. Debido a esta circunstancia es en los polos donde se forma el agujero de ozono al comenzar la estación fría, especialmente en el polo sur en el que la estratosfera es más fría.

El Protocolo de Montreal

El primer Protocolo de Montreal se planteaba la reducción a la mitad de los CFCs para el año 1998. Después de la firma de este primer protocolo nuevas mediciones mostraron que en daño en la capa de ozono era mayor que el previsto, y en 1992 la comunidad internacional firmante del Protocolo decidió acabar definitivamente con la fabricación de halones en 1994 y con la de CFCs en 1996, en los países desarrollados.

Dado el retraso de unos diez a veinte años entre la liberación de estas substancias en la baja atmósfera y la formación de los dañinos compuestos de cloro en la estratosfera, los niveles de cloro atómico todavía siguen aumentando en esta zona de la atmósfera aunque, si todo sigue como hasta ahora, se prevé que para el 2040 o 2050 se habrán recuperado los niveles de ozono originales en la atmósfera.

La reducción del ozono estratosférico provoca un aumento de la radiación ultravioleta que llega hasta la superficie terrestre, con diversos efectos sobre los seres vivos, como por ejemplo: quemaduras en la piel, incremento de los casos de cáncer de piel, debilitamiento del sistema inmunitario, enfermedades de la vista o reducción del rendimiento de los cultivos; también se ha observado que afecta a la productividad del fitoplancton, con las repercusiones que esto tiene para el resto de los componentes de la cadena trófica.

CAMBIO CLIMÁTICO: LA ACTIVIDAD HUMANA ESTÁ PROVOCANDO UN CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

- Las observaciones directas iniciadas en 1958 revelan un aumento exponencial en la concentración atmosférica de CO_2 (figura 7.46, pág. 222). Este aumento es el resultado directo de la combustión de combustibles fósiles y de la deforestación y aclarado de tierras con fines agrícolas.

- El dióxido de carbono y otros gases invernadero atrapan la radiación de onda larga emitida por la superficie de la tierra, calentando la atmósfera. El aumento de las concentraciones atmosféricas de CO₂ y de otros gases invernadero podría hacer aumentar la temperatura media global entre 1,5° y 3,5° C hacia el año 2100. Este calentamiento no será uniforme sobre la tierra. Se predice que el mayor calentamiento se producirá durante los meses de invierno y en las latitudes más nórdicas. También se ha predicho un aumento de la variabilidad climológica, lo cual incluiría fluctuaciones en las precipitaciones y en la frecuencia de las tormentas.

GASES CON EFECTO INVERNADERO

	Acción relativa	Contribución real
CO ₂	1 (referencia)	76%
CFCs	15 000	5%
CH ₄	25	13%
N ₂ O	230	6%

Como se indica en la columna de acción relativa, un gramo de CFC produce un efecto invernadero 15 000 veces mayor que un gramo de CO₂, pero como la cantidad de CO₂ es mucho mayor que la del resto de los gases, la contribución real al efecto invernadero es la que señala la columna de la derecha.

EL CAMBIO CLIMÁTICO AFECTARÁ A LOS ECOSISTEMAS A MUCHOS NIVELES

- La distribución y abundancia de especies cambiará según varíen las temperaturas y las precipitaciones. Los cambios climáticos influirán sobre la capacidad competitiva de las especies y, de esta manera, modificarán los modelos de zonación y sucesión de las comunidades. Ciertos procesos que se dan en los ecosistemas, como por ejemplo, la descomposición y circulación de nutrientes son sensibles a la temperatura y humedad, y por tanto un cambio climático los afectará. Los cambios en el clima también harán variar la distribución y abundancia de los ecosistemas tanto acuáticos como terrestres. Estos cambios en la distribución de los ecosistemas influirán en los modelos globales de diversidad animal y vegetal.

EL CALENTAMIENTO GLOBAL PODRÍA HACER AUMENTAR EL NIVEL DEL MAR Y AFECTAR A LOS AMBIENTES COSTEROS

- Actualmente, el nivel del mar está subiendo de una manera global a una tasa de 1,8 mm por año. Se estima que el calentamiento global habrá causado un aumento del nivel del mar de 0,15 a 1,0 m para el año 2100, conforme los casquetes de hielo polar se derritan y las aguas oceánicas, más calientes, se expandan. Una elevación en el nivel del mar de esta magnitud tendrá graves efectos sobre aquellas gentes que habitan zonas costeras. Además, el aumento del nivel del mar también afectará a los ecosistemas costeros tales como playas, estuarios y manglares.

EL CAMBIO CLIMÁTICO AFECTARÁ A LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

- En general, los vegetales responden al aumento de las concentraciones atmosféricas de CO₂ con tasas mayores de fotosíntesis y con el cierre parcial de los estomas. Estas respuestas aumentan la eficiencia en el uso del agua. Pero las respuestas a niveles altos de CO₂ mantenidos durante mucho tiempo varían. Los científicos están estudiando los efectos a largo plazo sobre la producción primaria neta.
- El cambio climático afectará a la producción agrícola global. Las disminuciones en la producción de los cultivos debidas a condiciones de aridez serán en parte compensadas por los aumentos en las tasas de fotosíntesis debidos a la elevación en los niveles de CO₂ atmosférico; no obstante, los modelos actuales predicen una disminución del 5% en la producción global de la cosecha de cereales. Esta disminución no se encuentra distribuida uniformemente, sino que en los países desarrollados de las latitudes medias la producción experimentará un pequeño aumento, mientras que en los países en desarrollo en las zonas tropicales disminuirá más. El resultado será un aumento del hambre.

EL CAMBIO CLIMÁTICO AFECTARÁ TANTO DIRECTA COMO INDIRECTAMENTE A LA SALUD HUMANA

- El cambio climático tendrá efectos tanto directos como indirectos sobre la salud humana. Se espera que aumenten las tasas de mortalidad como resultado de las muertes relacionadas con el calor, asociadas a dolencias cardiovasculares y respiratorias. Los efectos indirectos sobre la salud incluyen un aumento de la mortalidad y de los daños producidos por desastres naturales relacionados con el clima, así como cambios en la dieta y la nutrición, como consecuencia de los cambios en la producción agrícola. La distribución y las tasas de transmisión de una serie de enfermedades infecciosas transmitidas por los insectos que están directamente relacionadas con el clima, como por ejemplo la malaria, también se verán afectadas.

Para comprender el efecto de las concentraciones crecientes de gases invernadero y del cambio climático global, se tiene que estudiar la Tierra totalmente como un único sistema complejo.

LOS PAÍSES INTENTAN PONERSE DE ACUERDO PARA FRENAR LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

- El acuerdo ambiental, firmado en la ciudad japonesa de Kyoto en 1997 (Protocolo de Kioto), exige que los países industrializados reduzcan sus emisiones de ese tipo de gases en un promedio de 5% entre los años 2008 y 2012, con relación a las emisiones registradas en 1990. Para conseguirlo propone:
 - Reforzar o establecer políticas nacionales de reducción de las emisiones (incremento de la eficiencia energética, fomento de las formas de agricultura sostenibles, desarrollo de fuentes de energías renovables, etc.).
 - La cooperación entre las partes contratantes (intercambio de experiencias o datos, coordinación de las políticas nacionales en un afán de eficacia mediante mecanismos de cooperación, como el permiso de emisión, la aplicación conjunta y el mecanismo de desarrollo limpio).
- La Unión Europea y los Estados Unidos han adoptado posturas diferentes: mientras que los primeros defienden un cambio radical en los modos de consumo, apuestan por la innovación tecnológica y energética y el abandono del sistema dominante actual -dependiente de combustibles fósiles- por otro basado en energías limpias, los Estados Unidos no ratificarán Kioto ya que el gobierno de Bush defiende los intereses del sector petrolero.

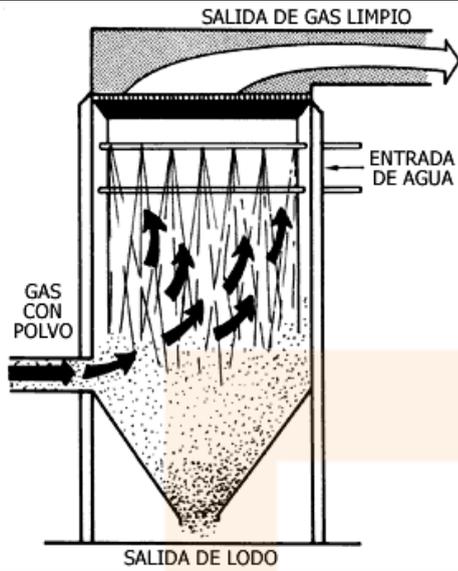
Estados Unidos, con sólo el 4,6% de la población mundial, emite el 24% del CO₂ mundial (más de 20 toneladas por habitante y año), y sus emisiones han aumentado un 22% entre 1990 y 2000, mientras que en Alemania se han reducido un 19%. Los gobernantes de EEUU no quieren reducir las emisiones domésticas, y pretenden con todo tipo de artimañas (negativa a ratificar el Protocolo, sumideros, mecanismos de flexibilidad) seguir con su insostenible modo de vida consumista y despilfarrador, a costa de afectar de forma irreversible al clima del planeta, y sobre todo a las poblaciones más pobres del Tercer Mundo.

4.6 MEDIDAS CONTRA LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

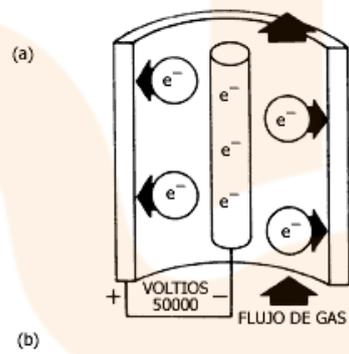
SE PUEDEN ADOPTAR DIVERSAS MEDIDAS PARA PREVENIR O CORREGIR EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN

- Entre las medidas preventivas podemos destacar:
 - Desarrollo de programas de vigilancia y control de la calidad del aire.
 - Planificación de usos del suelo (planes de ordenación del territorio) buscando los lugares idóneos para el establecimiento de industrias (considerando factores meteorológicos, geográficos, etc.) en los que los efectos sobre los seres humanos y el medio ambiente sean mínimos.
 - Realización de estudios de impacto ambiental previos al desarrollo de cualquier proyecto potencialmente contaminante.
 - Empleo de tecnologías de baja o nula emisión de residuos.
 - Programas I+D (investigación y desarrollo) relacionados con la búsqueda de fuentes de energía alternativas que sean menos contaminantes.
 - Fomento del uso de energías alternativas.
 - Cambios y correcciones en los procesos industriales para reducir al mínimo el efecto de sus emisiones.
 - Creación de cinturones verdes en torno a las grandes poblaciones urbanas.
 - Elaboración de planes de educación y de concienciación ciudadana.
- Las medidas correctoras están relacionadas con la depuración del aire contaminado y las estrategias de dispersión. Entre ellas podemos subrayar:
 - Para la eliminación de partículas se emplean diversos sistemas: separadores de gravedad, basados en la acción de la gravedad; filtros de tejido que retienen las partículas; o precipitadores electrostáticos, en los que las partículas cargadas por la acción de un campo eléctrico se depositan en unos electrodos que las atraen.
 - Para depurar gases se emplean mecanismos de absorción basados en la circulación de líquidos capaces de disolver el contaminante; métodos de adsorción que emplean sólidos capaces de retener selectivamente los contaminantes; procesos de combustión de gases; y procesos de reducción catalítica que transforman ciertos contaminantes en compuestos no tóxicos.
 - Las estrategias de dispersión se basan en el empleo de chimeneas adecuadas que garanticen la dilución de los contaminantes y eviten su concentración a nivel del suelo.
 - Por último, se puede citar también como medida correctora la elaboración de normas legislativas que regulen los niveles aceptables de emisión de contaminantes, estableciendo las tasas o las multas que se aplicarán por su incumplimiento.

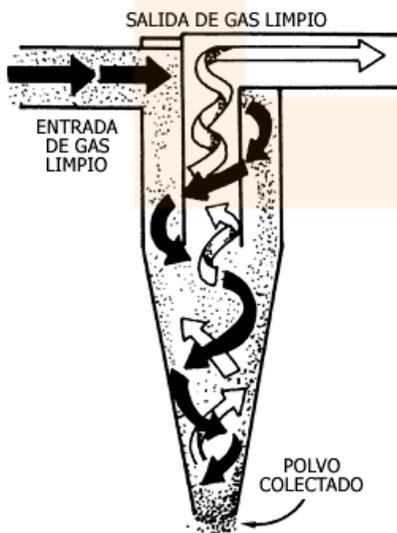
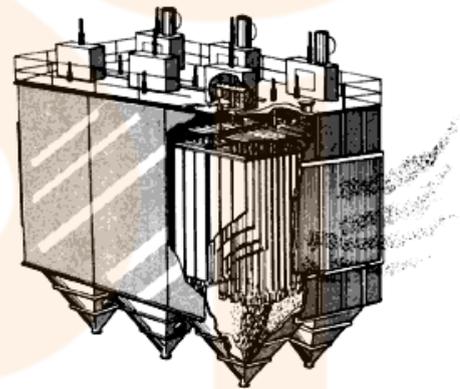
Sistemas de reducción de la emisión de partículas



⇨ Colector húmedo



Precipitador electrostático ⇨



⇨ Separador centrífugo (ciclón)

CUMBRES MUNDIALES CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO

4 de junio de 1992, Río de Janeiro (Brasil)

Histórica Cumbre de la Tierra en la que 180 países se comprometieron bajo el Tratado sobre Cambios Climáticos a tomar medidas para mitigar los efectos del cambio climático debido a las crecientes emisiones de gases de efecto invernadero. Las resoluciones de esta Cumbre entraron en vigor el 21 de marzo de 1994 y actualmente 181 gobiernos forman parte del tratado y se reúnen anualmente para comprobar el seguimiento de las decisiones y continuar buscando soluciones al problema.

Febrero de 1995, Berlín (Alemania)

Los países decidieron que las obligaciones de los países industrializados no eran las adecuadas y decidieron reunirse de nuevo para fortalecerlas.

1997, Kioto (Japón)

La base de la Cumbre fue la concreción del compromiso de reducir las emisiones un 7% en la década siguiente, compromiso que habían alcanzado los países que se reunieron en Río cinco años antes. En 1998, los países industrializados aumentaron sus emisiones hasta un 10%. Entre ellos, EEUU sobrepasó los límites aumentándolas más de un 20%. Para evitar los controles, muchos de estos países han trasladado sus fábricas a naciones en vías de desarrollo, donde las emisiones están creciendo a una media de un 6% anual.

El protocolo de Kioto exige a las naciones industrializadas una reducción media del 5,2% de sus emisiones de gases invernadero en el horizonte del 2008-2012 con relación a 1990. Sin embargo, su entrada en vigor precisa que sea ratificado por un mínimo de 55 naciones que representen al menos el 55% de las emisiones de dióxido de carbono del mundo en desarrollo en 1990.

Noviembre 2000, La Haya (Holanda)

IV Conferencia de las partes del Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Participaron 184 países. Europa y Estados Unidos rompieron su diálogo, al subrayar sus discrepancias sobre cómo determinar los métodos de reducción de la emisión de gases contaminantes. Los sumideros (término asignado a la capacidad de absorción de CO₂ de la vegetación) y la forma de contabilizar esta absorción frente a las emisiones fue el principal escollo que encontraron las negociaciones entre la UE y los americanos. Al no llegarse a un acuerdo, se vuelven a reunir en julio de 2001.

Marzo 2001, Trieste (Italia)

Cumbre de ministros de Medio Ambiente del G-8. Se alcanzó un compromiso para que la reducción de los gases acordada en Kioto entre en vigor en el 2002. Los países firmantes se comprometieron a esforzarse "para alcanzar un acuerdo sobre las cuestiones políticas todavía abiertas y asegurar de una manera efectiva la integridad ambiental del Protocolo de Kioto". La responsable de medio ambiente del Gobierno estadounidense Christine Todd Withman aclaró que la posición del nuevo presidente es favorable hacia la firma de un acuerdo.

Abril de 2001

El mediador de la ONU, Jan Pronk, presenta una propuesta que hace concesiones a EEUU sobre la utilización de sumideros para desbloquear las negociaciones. Su principal exigencia es una utilización flexible de estos sumideros. En este documento propone crear un fondo anual de 1.000 millones de dólares para financiar a los países en vías de desarrollo.

Julio 2001, Bonn (Alemania)

IV Conferencia de las partes del Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (II parte).

Octubre de 2001, Marrakech (Marruecos)

Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

Agosto de 2002, Johannesburgo (Sudáfrica)

Las adhesiones de Rusia (17,4%) y Canadá (3,3%) permiten totalizar más del 55% requerido ya que el protocolo ha sido ratificado ya por 90 países, que suman un 37,1% de las emisiones de gases: entre los que destacan la UE (24,2%) y Japón (8,5%), además de algunos pequeños estados (4,4%).