

UNIDAD 3.- LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Introducción

La atmósfera está formada por una mezcla de gases (aire) y partículas en suspensión (aerosoles) de gran importancia para el sistema Tierra, ya que influye en sus distintos elementos, en sus actividades o en su dinámica: respiración, fotosíntesis, erosión, ciclo del agua, ciclos biogeoquímicos, etc.

Como consecuencia del desarrollo industrial y las actividades humanas la composición del aire se altera y pone en peligro el equilibrio del planeta, el aire es por lo tanto un recurso limitado que debemos cuidar, controlar y evitar su alteración, para mantener unos límites de calidad que garanticen el funcionamiento del ecosistema Tierra.

Se puede definir la contaminación atmosférica como:

Contaminación atmosférica es la presencia en el aire de sustancias o formas de energía, en determinadas cantidades o durante ciertos periodos de tiempo, que impliquen riesgo, daño o molestias graves para los seres vivos, las tierras o bienes de cualquier naturaleza.

Aunque el gran incremento de esta alteración del aire está asociado a la Revolución Industrial, anteriormente existen datos, medidas reguladoras y preventivas sobre determinadas actividades como el uso del carbón en Londres (siglo XIV) y en nuestro país ya en el año 1600 sobre la contaminación generada por los hornos de cerámica en Talavera de la Reina (Toledo).

Para saber más

 [Ley protección medio atmosférico](#)



Principales contaminantes atmosféricos

Los contaminantes atmosféricos pueden clasificarse de diversas formas:

1. Según su origen:

- Naturales.- Debidos a la actividad de la geosfera y la biosfera: volcanes, incendios forestales naturales, impacto de meteoritos, actividades de los seres vivos (respiración, polinización, formación de esporas, etc.).
- Artificiales, antropogénicos o antrópicos.- Generados por las actividades humanas sobre todo por la utilización de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural), principalmente por los vehículos de transporte, calefacciones, producción de energía e industria en general, incendios forestales provocados, etc.

La contaminación natural alcanza proporciones muy superiores con respecto a la artificial si se analizan globalmente, pero a niveles más concretos (ciudades, áreas industriales), la artificial cobra mayor relevancia, además es en la contaminación antrópica donde podemos influir, tomar medidas, reducir su intensidad para conseguir disminuir sus efectos.

Contaminación	Partículas	SO _x	CO _x	NO _x	Hidrocarburos
Natural	88,7	57,1	90,6	88,7	84,5
Artificial	11,3	42,9	9,4	11,3	15,5

Comparación del porcentaje de contaminación natural y antrópica de diversos compuestos (Fuente: Sanz Sa, en McGraw Hill, 2007).

2. Según su composición:

- Contaminantes químicos.

Sustancias químicas liberadas a la atmósfera directamente (contaminantes primarios) o que se originan posteriormente por reacciones químicas (contaminantes secundarios).

- Contaminantes físicos o energéticos.

Consiste en la liberación al medio ambiente de algún tipo de energía, principalmente acústica (ruido), térmica, lumínica o radiactiva.

- Contaminantes biológicos.

Liberación a la atmósfera de seres vivos o estructuras resultantes de su actividad como bacterias, virus, hongos, protozoos, algas, ácaros, esporas o polen.



Contaminantes químicos

Son las emisiones a la atmósfera de compuestos sólidos, líquidos o gaseosos producidos de forma natural o por la actividad humana. Se clasifican según su precedencia en:

- Contaminantes primarios

Emitidos directamente por la fuente emisora, representan un porcentaje muy alto de la contaminación atmosférica y son principalmente: partículas en suspensión, compuestos de nitrógeno, compuestos de azufre, compuestos de carbono e hidrocarburos, compuestos halogenados, metales pesados, olores, etc.

- Contaminantes secundarios

Se forman por reacciones químicas de los contaminantes primarios, por acción de la luz solar o de los componentes atmosféricos, producen la contaminación fotoquímica y son principalmente el Ozono troposférico, derivados de óxidos de nitrógeno y de azufre.



Contaminantes primarios

Emisión a la atmósfera de productos químicos directamente desde la fuente emisora, representan más del 90 % de la contaminación atmosférica y son principalmente:

- Partículas en suspensión.

Son partículas sólidas o líquidas, de composición variable, tamaño entre 0,1 y 1000 micras.

Se incluyen en este grupo polvo, aerosoles, nieblas, humos y otras sustancias de origen natural (actividad volcánica, incendios forestales naturales, actividad bacteriana, erosión eólica, etc.) o de origen antrópico (actividad industrial, combustiones, calefacciones, vehículos, incendios, minería, fabricación de cemento, incineración de residuos, etc.).

Sus efectos son variables producen afecciones respiratorias, asma, problemas cardiacos, alteran los procesos fotosintéticos (obstrucción de estomas, necrosis y caída de hojas), influyen en el clima (absorción y reflexión de radiaciones provocando el aumento del efecto invernadero, y por otro lado aumento del efecto albedo reduciendo el calentamiento de la superficie, además influyen en las precipitaciones al servir como núcleos de condensación en la formación de lluvia), aumentan la corrosión, deterioro y suciedad de edificios y monumentos.

- Compuestos de nitrógeno

Son principalmente el monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) procedentes de procesos naturales como la actividad volcánica, o la actividad bacteriana en el suelo, pero sobre todo por las actividades humanas relacionadas con la utilización de combustibles fósiles: vehículos, calefacciones, producción de energía, etc.

Entre sus efectos destacan producción de afecciones respiratorias, asma, inhibición del crecimiento vegetal y son precursores de contaminantes secundarios.

Otro derivado nitrogenado importante es el óxido nitroso (N_2O) que se genera en procesos de descomposición bacteriana, descargas eléctricas en tormentas y oxidación fotoquímica y por el uso de abonos nitrogenados, combustión en vehículos, etc.

Tiene influencia en la destrucción de la capa de Ozono y en el efecto invernadero

- **Compuestos de azufre**

Son compuestos como el dióxido de azufre (SO_2) y trióxido de azufre (SO_3) y el sulfuro de hidrógeno (H_2S)

Su origen natural son las erupciones volcánicas, las transformaciones anaerobias bacterianas y de forma antrópica en la oxidación del azufre presente en los combustibles fósiles (carbón, gasoleo, fuel) sobre todo en las centrales térmicas de producción de energía, procesos industriales, vehículos, calefacciones, y el H_2S especialmente en escapes de refinerías de petróleo y fabricas de gas.

Entre sus efectos destacan provocar afecciones oculares, respiratorias, alteración de tejidos vegetales, y aumento de los procesos de corrosión y erosión de diversos materiales como el hierro y las calizas. El H_2S produce olores desagradables.

Además son responsables de la deposición seca y húmeda de la lluvia ácida, al reaccionar el SO_2 con el vapor de agua de las nubes, con efectos muy importantes sobre los seres vivos, ecosistemas, suelos y materiales (este tema se ampliará en otro apartado de esta unidad).

- **Compuestos de carbono**

Principalmente óxidos, como el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO_2).

- El CO se produce principalmente por oxidación de metano CH_4 (hasta un 90% del CO atmosférico), por reacciones del CO_2 a altas temperaturas, por emisiones de los océanos, por la producción y degradación de la clorofila de los vegetales y de procedencia antrópica fundamentalmente por combustión incompleta de carburantes de vehículos, incendios forestales y quemas agrícolas.

Es un gas tóxico y su efecto es grave para la salud ya que bloquea el transporte de oxígeno por parte de la hemoglobina.

- El CO_2 se origina de forma natural en los procesos respiratorios de los seres vivos y de forma antrópica por la utilización de combustibles fósiles, incendios forestales, etc.

El CO_2 tiene un papel muy importante como nutriente en los procesos fotosintéticos de los vegetales y en la regulación de la temperatura terrestre,

siendo el principal responsable del efecto invernadero. El aumento de su concentración en la atmósfera provoca el incremento de este efecto invernadero y el consiguiente cambio climático que es uno de los más importantes problemas ambientales actualmente y será tratado con detalle en esta misma unidad.

- **Hidrocarburos**

Químicamente son compuestos formados principalmente por carbono e hidrógeno. Su origen natural se produce sobre todo por reacciones de descomposición bacteriana en zonas húmedas y pantanosas y en los yacimientos petrolíferos, su formación por causas antrópicas se debe principalmente a la extracción, manufactura y utilización de productos derivados del petróleo (vehículos, refinerías) y de gas natural.

Entre los hidrocarburos más importantes podemos destacar:

- El metano CH₄ se forma principalmente por reacciones bacterianas en zonas húmedas y pantanosas y por fermentaciones bacterianas en el intestino de los rumiantes, incrementándose de forma antrópica por la ganadería, por el uso de combustibles fósiles, la agricultura del arroz y los procesos de descomposición bacteriana de los residuos sólidos urbanos en vertederos y depuradoras de aguas residuales.

El metano participa en el efecto invernadero y es el principal precursor del CO.

- Los compuestos orgánicos volátiles (COVS) son compuestos químicos gaseosos con 5 átomos de carbono, que junto con algunos derivados de nitrógeno producen oxidantes fotoquímicos que participan en la formación de nieblas fotoquímicas (smog).
- Los policlorobifenilos (PCBS) son compuestos líquidos, tóxicos, que se originan en el tratamiento de compuestos químicos clorados.
- Las dioxinas y furanos son compuestos tóxicos que se originan de forma natural a partir de los vegetales, pero como contaminantes derivan de las actividades humanas, principalmente en los procesos de incineración de residuos que contienen sustancias cloradas como los plásticos derivados de PVC, y en la fabricación de plaguicidas y disolventes organoclorados, blanqueo con cloro de pulpa para fabricar papel, etc.

Sus efectos, aunque muy discutidos, podrían causar cáncer, mutaciones, alteraciones del sistema nervioso, reproductor, endocrino, inmunológico, etc. y además son compuestos que se van acumulando y concentrando en su recorrido a través de las cadenas tróficas (bioacumulación).

- **Compuestos halogenados**

Son compuestos que contienen en sus moléculas elementos del grupo halógenos como el cloro o el fluor. Destacan entre ellos:

- El cloro (Cl₂) presente en la atmósfera en forma de gas o de partículas. Se libera de forma natural en los océanos y de forma antrópica principalmente en la combustión de carburantes de los vehículos y en la incineración de residuos plásticos (PVC). Es muy tóxico e irritante, afectando al aparato respiratorio. Participa en la destrucción de la capa de Ozono.
- El cloruro de hidrógeno (HCl) se produce en los procesos industriales de fabricación de aluminio y tiene un papel importante en la neutralización del cloro, impidiendo que destruya la capa de Ozono.
- El fluoruro de hidrógeno (HF) se produce en los procesos industriales de fabricación de vidrio y cerámica, es un compuesto muy corrosivo, es un tóxico acumulativo en vegetales y afecta al metabolismo del calcio en humanos.
- Los clorofluorocarbonos (CFCS) se producen en la industria relacionada con aerosoles, sprays, frigoríficos, aires acondicionados, disolventes y aislantes. Reaccionan con la luz ultravioleta del Sol, liberándose cloro que participa en la destrucción de la capa de Ozono estratosférica.

- Metales pesados

Son compuestos muy tóxicos y peligrosos para la salud, no se degradan ni química ni biológicamente, por lo que se acumulan en las cadenas tróficas.

Los más importantes son:

- El plomo (Pb) que se genera en la combustión de gasolinas que lo llevan como antidetonante y que actualmente están prohibidas en muchos países,
- El cadmio (Cd) que se produce en la industria metalúrgica, en la extracción de metales, incineración de residuos, etc.
- El mercurio (Hg) que se forma en la extracción de carbón, en actividades agrícolas y en la incineración de residuos.

Los metales pesados provocan enfermedades relacionadas con el aparato respiratorio, circulatorio y alteraciones cerebrales y psicológicas.

- Olores

Son partículas de distinta naturaleza que se difunden por la atmósfera y al ser captadas por el sentido del olfato provocan malestar físico y sensaciones desagradables. Su origen principal son las erupciones volcánicas, vertederos de residuos (urbanos, agrícolas o ganaderos), aguas y suelos contaminados, y diversas industriales como alimentarias, fabricación de papel, etc.

Contaminantes secundarios

No se producen directamente en los focos emisores, se forman por reacciones químicas en la atmósfera de los contaminantes primarios, dando lugar a otras sustancias contaminantes.

Los más importantes son:

- Trióxido de azufre (SO_3) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) se producen a partir del SO_2 y reaccionan con el vapor de agua generando lluvia ácida.
- Trióxido de nitrógeno (NO_3) y ácido nítrico (H_2NO_3) se produce a partir del NO_2 por reaccionan con el Ozono troposférico, participando en la formación de nieblas fotoquímicas (smog fotoquímico) y en la formación de lluvias ácidas.
- Ozono troposférico (O_3) es un gas irritante y picante, con gran capacidad oxidante. Se forma en erupciones volcánicas, por descargas eléctricas en tormentas, por efecto de las radiaciones ultravioletas y por reacciones fotoquímicas sobre contaminantes primarios NO_2 y COVS producidos por los vehículos y que participan en la formación del smog fotoquímico. Además es un precursor de otros contaminantes secundarios. Tiene efecto sobre la salud de las personas, es tóxico para los vegetales y altera intensamente ciertos materiales como el caucho (neumáticos de vehículos).

Es importante diferenciar el papel del Ozono en la troposfera como contaminante y su función en la estratosfera como protector al absorber las radiaciones ultravioletas.

- Nitratos de peroxiacetilo (PAN) son sustancias con un gran poder oxidante, que se generan a partir de los COVS y forman parte del smog fotoquímico.



Contaminantes físicos o energéticos

Consiste en la liberación al medio ambiente de algún tipo de energía, principalmente acústica (ruido), térmica, lumínica o radiactiva.

- Contaminación acústica (ruido)

Se denomina ruido a un sonido excesivo, intempestivo, indeseado, perturbador que puede producir efectos fisiológicos y psicológicos peligrosos o que afecten a la salud.

Las principales fuentes de contaminación acústica son las actividades industriales (maquinaria, vehículos asociados, etc.), medios de transporte (circulación de vehículos, ferrocarril, aviones, etc.), construcción de edificios y obras públicas, lugares de ocio, mercados, etc.

Los efectos son muy variables y dependen de la intensidad y la duración y pueden diferenciarse en:

- Alteraciones fisiológicas como pérdida de audición (pérdida de agudeza auditiva, sordera), alteraciones del sistema nervioso (irritación, fatiga, dolor de cabeza, depresión, ansiedad, estrés, insomnio, alteraciones respiratorias, circulatorias, digestivas, endocrinas, pérdida de equilibrio, vértigo, etc.
- Alteraciones psíquicas como neurosis, irritabilidad, estrés, memorización, etc.
- Otras alteraciones como dificultad en la comunicación, alteración del sueño, disminución del rendimiento laboral (reduce la memorización, la vigilancia y la resolución de problemas) y dificulta el proceso enseñanza-aprendizaje al disminuir la concentración y la eficiencia.

Para evitar estos problemas se pueden adoptar medidas preventivas como planificación del uso del suelo, normas arquitectónicas, protectores auditivos, rotación de puestos de trabajo, sistemas de reducción de ruidos en las fuentes emisoras, estudios de impacto ambiental, normas legislativas, tasas, multas, subvenciones, información y educación. También medidas correctoras a través de reglamentos legislativos, limitación de actividades, aislamiento de fuentes emisoras (antivibración o insonorización), reducción de potencia, aislamiento de zonas, modificación de circulación de vehículos, insonorización de edificios, barreras acústicas, etc.

- Contaminación radiactiva

Las radiaciones emitidas a la atmósfera pueden ser muy diversas y su efecto depende de la cantidad, tipo, tiempo de exposición y sensibilidad del receptor, se generan de forma natural (energía solar, elementos radiactivos) o artificiales (actividades médicas, militares, centrales nucleares, pararrayos, televisiones, fluorescentes, relojes, cables eléctricos, etc.)

Las principales radiaciones son:

- Radiaciones ionizantes (alfa, beta, gamma, rayos X) que pueden producir la ionización de los átomos y sus efectos son más intensos y peligrosos.

Sus efectos van desde la alteración de procesos biológicos como alteración de tejidos, malformaciones genéticas, cáncer y muerte de seres vivos.

- Radiaciones electromagnéticas no ionizantes o R.E.M.N.I. (tendidos eléctricos, microondas, radares, emisiones de radio y televisión, etc.) con efectos de menor intensidad.

Sus efectos, aunque algunos no están científicamente confirmados van desde alteraciones del sistema nervioso como estrés, ansiedad, cefaleas, insomnio, a modificaciones del sistema hormonal o inmunológico.



- Contaminación térmica

La transmisión de calor a la atmósfera y el consiguiente aumento de temperatura producen una alteración de las condiciones del aire que inciden sobre los seres vivos (variaciones de los intervalos de temperatura óptima), los fenómenos meteorológicos (ascensión de aire, vientos, precipitaciones, etc.).

Se producen principalmente en sistemas de enfriamiento de instalaciones industriales, centrales térmicas de generación de energía eléctrica, centrales nucleares, etc.

- Contaminación lumínica

La contaminación lumínica puede definirse como la emisión de luz desde fuentes artificiales en formas, intensidades, direcciones, rangos espectrales u horarios innecesarios o inadecuados.

Es obvio que el alumbrado exterior es necesario para realizar muchas actividades por la noche, pero es imprescindible iluminar de forma adecuada, evitando la emisión de luz directa a la atmósfera y empleando la luz necesaria.

Los principales causantes de este tipo de contaminación son el alumbrado exterior innecesario o mal orientado, proyectores y cañones láser, luminosos y anuncios publicitarios, iluminación de edificios, monumentos y adornos festivos.

Las consecuencias de la contaminación lumínica son principalmente: el aumento del brillo del cielo nocturno, alterando su calidad y condiciones naturales, dificultando la observación y disfrute de estrellas y otros cuerpos celestes, el aumento del gasto energético y económico, la inseguridad vial y los problemas ocasionados al tráfico aéreo y marítimo.



Contaminantes biológicos

Liberación a la atmósfera de seres vivos o estructuras resultantes de su actividad como bacterias, virus, hongos, protozoos, algas, ácaros, esporas o polen.

Los ácaros y sobre todo el polen destacan por sus implicaciones en la salud humana al ser los responsables de distintas afecciones y alergias, motivo por el que se realiza un seguimiento, evaluación e información de las concentraciones y zonas de especial incidencia.



Para saber más

- 🌿 Tema dedicado a la contaminación atmosférica del libro electrónico de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente
- 🌿 Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes, proporciona información sobre las emisiones al aire y al agua de sustancias contaminantes vertidas por las instalaciones industriales
- 🌿 Amplia información sobre radiaciones, teoría, aplicaciones, efectos, implicaciones en la salud, etc.
- 🌿 Información sobre contaminación lumínica, causas y medidas preventivas y correctoras.
- 🌿 Página web de la Red Española de Aerobiología, con amplia información sobre niveles de polen, especies, fenología y alergias. Contiene enlaces de diferentes comunidades y países de todo el mundo.
- 🌿 Página web de la Red de Aerobiología de Castilla-La Mancha, con amplia información sobre niveles de polen, especies, fenología y alergias.

Autoevaluación

Indica a que grupo de contaminantes según su origen corresponden las siguientes sustancias o procesos:

Cenizas emitidas por una central energética:

Selecciona... Natural Artificial Ambas

Cenizas emitidas por un volcán:

Selecciona... Natural Artificial Ambas

Incendio forestal:

Selecciona... Natural Artificial Ambas

Polen de gramíneas:

Selecciona... Natural Artificial Ambas

Vehículos en zona rural:

Selecciona... Natural Artificial Ambas

Indica si son verdaderas o falsas las siguientes frases:

La contaminación natural es mucho mayor que la artificial:

Selecciona... Verdadero Falso

Los volcanes emiten contaminantes químicos y biológicos:

Selecciona... Verdadero Falso

El agua de refrigeración de una central nuclear no es un contaminante:

Selecciona... Verdadero Falso

Indica a que grupo de contaminantes químicos corresponden las siguientes sustancias o procesos:

Cenizas emitidas por un volcán:

Selecciona... Primario Secundario

Ozono:

Selecciona... Primario Secundario

Ácido sulfúrico (H₂SO₄):

Selecciona... Primario Secundario

Dióxido de Nitrógeno (NO₂):

Selecciona... Primario Secundario

Nitrato de Peroxiacetilo (PAN):

Selecciona... Primario Secundario

Dispersión de contaminantes

Una vez lanzados a la atmósfera los contaminantes, existen diversos factores que hacen variar su dispersión o permanencia y por lo tanto que influyen en sus efectos y posibles daños.

Es importante diferenciar entre

- Nivel de Emisión, que es la cantidad de sustancias contaminantes vertidas a la atmósfera por un foco emisor, en un periodo de tiempo determinado.
- Nivel de Inmisión o cantidad de contaminantes presentes en la atmósfera una vez que han sido transportados, dispersados, mezclados o acumulados y que finalmente afectan a los seres vivos o ecosistemas

Entre esos factores que condicionan la mayor o menor dispersión de los contaminantes, se pueden destacar:

- Características de las emisiones

Principalmente la naturaleza físico-química del contaminante, los gases se dispersan con más facilidad, mientras que las partículas tienden a depositarse.

Las condiciones de emisión como velocidad del vertido (a más velocidad de salida, mejor dispersión), temperatura respecto al ambiente (permitirá la ascensión o provocará la acumulación de contaminantes a nivel de suelo) o concentración (a mayor concentración más dificultades de dispersión).

La configuración de la fuente emisora que facilita o dificulta la dispersión en función de la altura (evitar zonas de inversión térmica) o localización (núcleos urbanos, zonas costeras, valles, etc.).

- Condiciones atmosféricas

Son los factores que más influyen en la dispersión de contaminantes.

Los vientos en función de su dirección, velocidad o turbulencias, facilitan o dificultan la dispersión, o dirigen los contaminantes hacia más o menos vulnerables.

La temperatura del aire y los gradientes verticales de temperatura, que condicionan la ascensión o no de las masas de aire y la dispersión de los contaminantes. Además condicionan la existencia de borrascas o ciclones que llevan asociada la ascensión de vientos y buena dispersión de contaminantes o las situaciones anticiclónicas que al no producir vientos ascendentes dificultan la dispersión y provocan la acumulación de contaminantes en zonas bajas. Las zonas de inversión térmica también impiden los movimientos verticales ascendentes y favorecen la acumulación de contaminantes.

El grado de insolación favorece las reacciones fotoquímicas y la transformación de contaminantes primarios en secundarios, que aumentan su concentración y sus efectos, sobre todo las nieblas o smog fotoquímicos.

Las precipitaciones realizan un efecto de lavado, reduciendo la cantidad de contaminantes y aumentando la deposición, además suelen producirse en situaciones de bajas presiones y van acompañadas de vientos favorecen la dispersión de contaminantes

- Características geográficas y topográficas.

Las características geográficas y topográficas de las zonas donde se produce la emisión pueden influir notablemente sobre la dispersión de contaminantes.

En zonas costeras debido a la diferente velocidad de calentamiento o enfriamiento del mar y la tierra, se producen brisas de tierra o de mar. Durante el día la tierra se calienta más rápidamente y se originan vientos desde el mar hacia el interior del continente (brisa de mar), dirigiendo los contaminantes en ese sentido. Por la noche la tierra se enfría más rápidamente que el mar y el viento sopla desde la tierra hacia el mar (brisa de tierra), llevándose los contaminantes. Al ser movimientos cíclicos en muchas ocasiones los contaminantes recirculan por las zonas afectadas y no llegan a dispersarse completamente, aunque influye la intensidad y duración de cada uno de ellos.



De igual manera, en los valles y laderas y por el mismo efecto del diferente calentamiento de las distintas zonas se generan las brisas de valle o de montaña. Durante el día las laderas se calientan y asciende aire caliente, mientras que en el


valle se acumula aire frío, se producen situaciones de inversión térmica que dificulta la dispersión de los contaminantes. Durante la noche las laderas ceden calor, el aire se calienta y asciende, siendo sustituido por aire frío, que dificulta la dispersión de contaminantes. Estos procesos son muy importantes a la hora de decidir la instalación de posibles focos emisores (ordenación del territorio), para prevenir o evitar posibles riesgos y problemas.

Los núcleos urbanos tienen una dinámica especial, los vientos varían su dirección velocidad y turbulencias en función de la distribución de los edificios y calles, influyendo de forma importante en la dispersión de contaminantes. Además se produce el fenómeno denominado isla térmica urbana o isla de calor por el aumento de temperatura en las zonas del interior debido al calor que generan la circulación de vehículos, calefacciones, edificios o pavimento, formándose vientos cíclicos fríos desde la periferia que dificultan la dispersión de contaminantes y dan lugar a la acumulación de estos y la formación de las características cúpulas de contaminación sobre las ciudades.



En función del tipo de contaminación, de su dispersión y de su alcance se pueden distinguir efectos locales (causados directamente por los contaminantes en la zona de emisión, o las nieblas contaminantes o smog), regionales (afectan a zonas más amplias y a veces muy distantes del foco emisor, por ejemplo las lluvias ácidas) y globales (afectan a todo el planeta, como por ejemplo la destrucción de la capa de Ozono, el efecto invernadero y el cambio climático). En los siguientes apartados se describen estos fenómenos con detalle.

Para saber más

 Información sobre los factores que influyen en la dispersión de los contaminantes.

Autoevaluación

Indica las situaciones favorables o desfavorables a una buena dispersión de contaminantes:

Situación de borrasca con precipitaciones y fuertes vientos

Selecciona... Favorable Desfavorable

Situación anticiclónica y con inversión térmica:

Selecciona... Favorable Desfavorable

Chimeneas de gran altura y emisión a gran velocidad:

Selecciona... Favorable Desfavorable
Fondo de un valle con inversión térmica en altura:
Selecciona... Favorable Desfavorable
Zona urbana con calles cerradas y mala orientación:
Selecciona... Favorable Desfavorable

Nieblas contaminantes (SMOG)

Es un tipo de contaminación atmosférica propia de zonas urbanas o industrializadas, con una gran humedad ambiental y en condiciones de estabilidad o anticiclónicas que dificultan la dispersión de contaminantes. Se caracteriza por una mezcla de humos (smoke) y niebla (fog), de esos nombres en inglés deriva el término Smog.

Se pueden diferenciar dos tipos muy diferentes de nieblas contaminantes:

- Smog clásico, ácido, gris, reductor o industrial.

Formado por aerosoles y óxidos de azufre procedentes de la combustión de carbón y otros combustibles con alto contenido en azufre, en condiciones ambientales de temperaturas frías y alto porcentaje de humedad, generalmente en invierno.

Sus efectos más importantes se producen sobre la vegetación afectando a las hojas (decoloración y endurecimiento), corrosión y desgaste de materiales y edificios, y en las personas provoca afecciones respiratorias y oculares. En Londres en 1952 provocó la muerte de 4000 personas.



- Smog fotoquímico, marrón, oxidante.

Formado por contaminantes primarios como óxidos de nitrógeno (NOX) e hidrocarburos volátiles, mezclados con contaminantes secundarios originados por reacciones fotoquímicas, como Ozono, PAN, aldehídos, etc. Sobre todo se produce en condiciones ambientales de climas secos, calurosos y muy soleados, generalmente en verano, y las situaciones de inversión térmica acentúan este problema.

Provocan problemas respiratorios, oculares y cefaleas en las personas, deterioro de la vegetación que afecta a las hojas (manchas plateadas en el envés) y alteración de monumentos y edificios.



Para saber más

 Smog, causas, tipos y consecuencias (I)

 Smog, causas, tipos y consecuencias (II)

Autoevaluación

Indica las situaciones típicas asociadas a los dos tipos de smog:

Temperatura baja y alta humedad relativa:

Selecciona... Clásico Fotoquímico

Importante participación de contaminantes secundarios:

Selecciona... Clásico Fotoquímico

Asociado a fuerte insolación y alta temperatura:

Selecciona... Clásico Fotoquímico

Aparición de manchas plateadas en la vegetación:

Selecciona... Clásico Fotoquímico

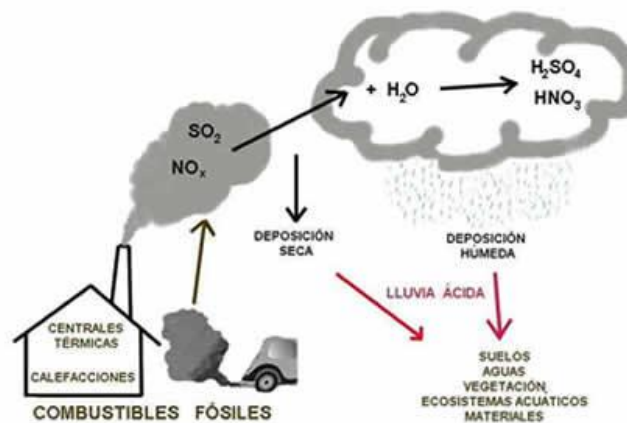
Decoloración y endurecimiento de hojas de vegetales:

Selecciona... Clásico Fotoquímico

Lluvias ácidas

El agua de lluvia tiene un pH ácido por la presencia de origen natural de CO_2 y SO_2 presentes en la atmósfera y procedentes de la actividad de los seres vivos y los océanos. Cuando por las actividades humanas las precipitaciones (lluvia, nieve o granizo) aumentan su acidez y por lo tanto baja el valor de pH (incluso a valores cercanos a 2) se produce la lluvia ácida.

Por lo tanto, la lluvia ácida es un tipo de precipitación que se produce por la presencia de sustancias ácidas en la atmósfera, sobre todo ácido sulfúrico (H_2SO_4) y nítrico (HNO_3) que aparecen de las reacciones entre contaminantes primarios, principalmente SO_2 y NO_x , con el vapor de agua de las nubes. Estos contaminantes proceden de la quema de combustibles fósiles que contienen derivados de azufre y nitrógeno, sobre todo de la producción de energía eléctrica en las centrales térmicas que utilizan carbón y derivados del petróleo, industrias (metalúrgicas y cementeras), calefacciones y vehículos.



Una vez en la atmósfera pueden precipitar en forma de partículas y aerosoles produciendo la denominada deposición seca, que normalmente se produce en las cercanías del foco emisor. Por el contrario los ácidos disueltos formando parte de las nubes pueden ser transportados a largas distancias hasta que se produzca la precipitación o deposición húmeda, y que puede afectar a zonas muy alejadas, incluso de países diferentes al emisor, por lo que se denomina contaminación transfronteriza. En este aspecto juega un papel importante el régimen de vientos, que desplaza los vientos cargados de contaminación a otras zonas o países, por ejemplo los países nórdicos reciben la contaminación de las zonas industriales de centroeuropa y las islas británicas, por lo que la biodiversidad de sus numerosos lagos está seriamente afectada.

Los principales problemas causados por la lluvia ácida afectan a:

- **Materiales.**- Sobre todo aumentan la corrosión y el desgaste de metales y materiales calcáreos, provocando el deterioro de edificios y monumentos (se denomina "mal de la piedra").
- **Suelos.**- Alteran la composición, estructura y procesos químicos del suelo. En función del tipo de suelo, básico (calcáreo o basáltico) o ácido (silíceo o arcilloso) el efecto será más o menos intenso, puesto que la lluvia podría ser más o menos

neutralizada. La abundancia de humus también permite una cierta capacidad de neutralización y por lo tanto disminuye el efecto negativo de la lluvia ácida, aunque en el proceso pueden liberarse metales pesados tóxicos que se incorporan a las cadenas tróficas. Además numerosos microorganismos que viven en el suelo y participan de forma importante en los procesos edáficos, son alterados o destruidos provocando serios desequilibrios en el ecosistema.


- Vegetación.- Afecta principalmente a las hojas, llegando a la pérdida total de hojas y a la muerte de las plantas y árboles.



- Aguas y ecosistemas acuáticos.- Los ríos y lagos principalmente reciben directamente o por escorrentía las aguas ácidas, cambiando sus características físico-químicas y provocando problemas o incluso la desaparición de numerosas especies de seres vivos. En algunas zonas afectadas, como los países escandinavos, la pérdida de biodiversidad es alarmante y una gran proporción de sus lagos ha sufrido una gran reducción de especies o incluso las han perdido totalmente.
- Salud humana.- No está claro su efecto directo, pero puede afectar al liberarse metales tóxicos (aluminio, cadmio, cobre, plomo, zinc, etc.) al bajar el pH.

Las medidas para paliar este problema ambiental pasan por reducir el uso de combustibles fósiles, utilizar combustibles sin azufre o nitrógeno, filtrar o neutralizar las emisiones, etc. Además debido al carácter transfronterizo de esta contaminación las medidas deben afectar y ser tomadas por los diversos países implicados.

Para saber más

 Amplia información sobre origen, efectos y soluciones, con muchas actividades y con interesantes enlaces sobre efectos de la lluvia ácida.

 Amplia información sobre origen, focos emisores, efectos, soluciones y otros aspectos de la lluvia ácida.

Autoevaluación

Completa las siguientes frases:

La principal causa de la lluvia ácida es la quema de combustibles fósiles en de producción de energía eléctrica.

La lluvia ácida afecta a las zonas próximas al foco emisor, pero sobre todo a zonas alejadas, en lo que se denomina contaminación . Los principales compuestos implicados en la lluvia ácida son óxidos de .

Indica si son verdaderas o falsas las siguientes frases:

El principal efecto de la lluvia ácida se produce en las cercanías del foco emisor:

Selecciona... Verdadero Falso

Los efectos de la lluvia ácida son más intensos en suelos ácidos que en suelos calcáreos:

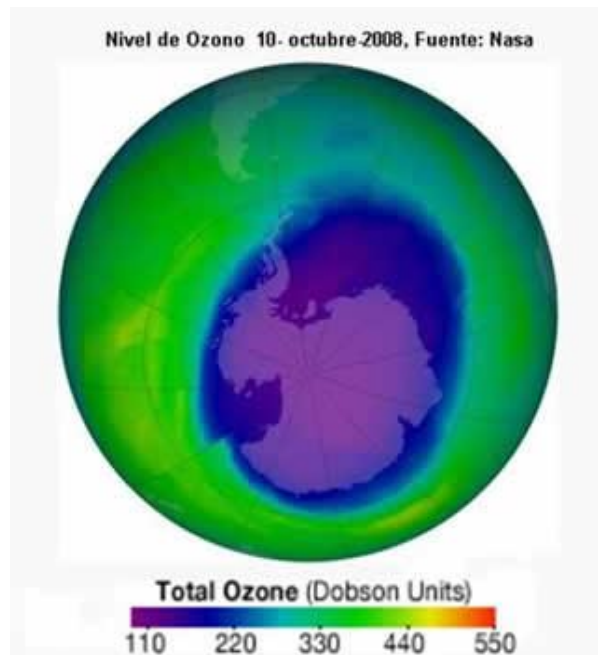
Selecciona... Verdadero Falso

La utilización de gasolinas y carbón sin azufre es una buena medida para reducir la lluvia ácida:

Selecciona... Verdadero Falso

Destrucción de la capa de Ozono

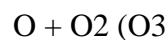
Como ya hemos visto anteriormente, la capa de Ozono (ozonósfera) situada en la estratosfera y que se concentra a una altitud en torno a los 25 Km, tiene una función importantísima al retener la mayoría de las radiaciones ultravioletas procedentes del Sol, e impedir de esa forma su efecto negativo sobre los seres vivos y los ecosistemas. El espesor de la capa es variable en función de la latitud (máximo en el ecuador y mínimo en los polos), de las estaciones e incluso sufre modificaciones diarias. La circulación de los vientos en la estratosfera que principalmente se produce en horizontal tiene una influencia muy importante en la formación, distribución y destrucción del Ozono.



El Ozono en la estratosfera se encuentra en equilibrio dinámico, es decir, se forma y se destruye continuamente, mediante los siguientes procesos:

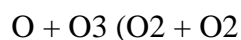
- Formación de Ozono

Se produce por efecto de los rayos ultravioletas sobre moléculas de Oxígeno, disociándose en dos átomos de Oxígeno, que posteriormente reaccionan con otra molécula de Oxígeno y forman la molécula de Ozono (O₃).



- Destrucción natural

Se produce por la absorción de luz ultravioleta por parte del Ozono, originando Oxígeno molecular y atómico. Este último reacciona con otra molécula de Ozono, dando lugar a Oxígeno molecular que iniciará el proceso de formación.



Los procesos de destrucción natural son proporcionalmente mucho más importantes que los de origen antrópico, se producen por la presencia de NO₂ procedente de los procesos de desnitrificación bacteriana de suelos, y por compuestos de Cloro procedentes de océanos y erupciones volcánicas.

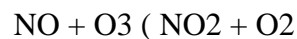
El equilibrio es muy inestable y diversas actividades de origen antrópico lo alteran, por lo que se ha producido un intenso deterioro y disminución de la capa de Ozono, principalmente por:

- El uso indiscriminado de abonos y fertilizantes sintéticos (aumento de N₂O).

- Contaminantes generados por aviones estratosféricos (producen NOX), aunque actualmente tienen poca incidencia.
- Combustión de carbón, petróleo, gas natural, etc. que incrementa los óxidos de Nitrógeno.
- Contaminantes del tipo de halones, freones, etc., principalmente los denominados genéricamente CFCS (Clorofluorocarbonos) utilizados como propelentes de sprays, como refrigerantes en frigoríficos o instalaciones de aire acondicionado y otras actividades industriales (aislantes, espumas, extintores, etc.).
- Efecto de los óxidos de Nitrógeno

Se forman principalmente durante las tormentas y por actividades humanas como la combustión de los aviones estratosféricos (actualmente insignificantes), pero sobre todo por la formación de N₂O en la utilización de combustibles fósiles y en la desnitrificación de suelos (incrementada enormemente por el uso de abonos nitrogenados) que a niveles estratosféricos se transforma en NOX, (los NOX formados directamente en superficie por procesos de combustión no llegan a la estratosfera porque se transforman rápidamente).

Las reacciones de destrucción de Ozono son las siguientes:



Es importante destacar que los NOX actúan como catalizadores, no se consumen en el proceso, por lo que las reacciones se repiten continuamente, pudiéndose destruir una gran cantidad de moléculas de Ozono.

Existe la posibilidad de que los NOX reaccionen con otras moléculas (sumideros de óxidos de Nitrógeno), por ejemplo con grupos OH, formándose ácido nítrico y reduciendo el efecto destructivo de los óxidos de Nitrógeno sobre el Ozono.

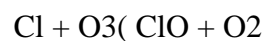
- Efecto de los compuestos de Cloro

Principalmente se producen de forma natural en las erupciones volcánicas y a partir de mares y océanos, y de origen antrópico a partir de los CFCS. Estos compuestos reaccionan con los rayos ultravioletas (fotólisis), liberándose Cloro, que reaccionan con las moléculas de Ozono, destruyéndolo y recuperándose moléculas de Cloro que inician el proceso.

Debido a este efecto cíclico, cada átomo de Cloro puede mantenerse activo más de 100 años y pueden destruir más de 10.000 moléculas de Ozono.



Destrucción de Ozono:



También puede producirse una reacción que actúa de sumidero para el cloro, cuando este se une al dióxido de nitrógeno, se produce nitrato de Cloro y evita la destrucción del Ozono.



- Efecto de los compuestos de Bromo

Principalmente procede del Bromuro de Metilo, que se utiliza como desinfectante y en tratamientos agrícolas, su utilización está prohibida en algunos países por ser tóxico para los humanos y contaminar las aguas subterráneas. Al liberarse a la atmósfera y llegar a la ozonósfera destruye moléculas de Ozono, de forma mucho más intensa que los CFCS, hasta 50 veces más destructor. Algunos autores dan cifras de hasta un 40 % del total de reducción de la capa de Ozono debidas al Bromuro de Metilo.

El agujero en la capa de Ozono ha sido más intenso en algunas zonas de la Tierra, sobre todo en la Antártida debido a la circulación de vientos horizontales en la estratosfera, que arrastran y acumulan los contaminantes en esas zonas y a la formación de nubes estratosféricas polares. Estas nubes se forman exclusivamente en la zona correspondiente a la Antártida por la existencia de anticiclones fríos y bajas temperaturas, compuestos como el NO₂ actúan como núcleos de condensación, forman ácido nítrico y al precipitar reducen la cantidad de derivados nitrogenados en la estratosfera que actuaban como sumideros de Cloro, por lo tanto se reduce el proceso que neutralizaba al Cloro y este continúa el proceso de destrucción de Ozono de forma intensa, aumentando la reducción de la capa de Ozono.

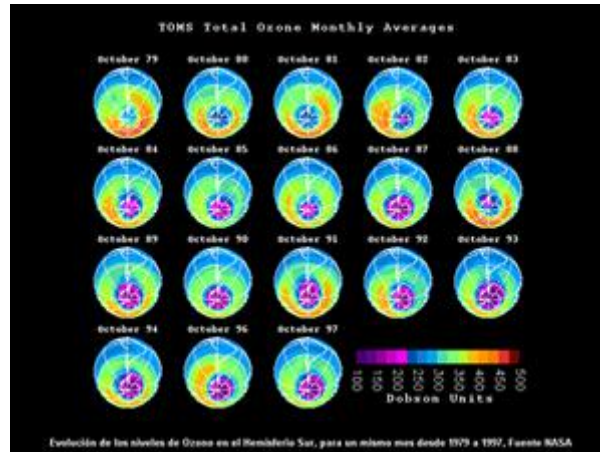
- Efectos producidos por la disminución de la capa de Ozono.

Como hemos visto al disminuir la capa de Ozono estratosférico se reduce la filtración de las radiaciones ultravioletas, aumentando la cantidad de estas radiaciones que llegan a la superficie terrestre y sus efectos negativos, entre los que destacan:

- Aumento de mutaciones y daños genéticos.
- Muerte o reducción de microorganismos y plancton, afectando a las cadenas tróficas y a actividades agrícolas y pesqueras..
- Reducción de la biodiversidad animal y vegetal, al afectar al rendimiento de la fotosíntesis, a la sensibilidad frente a plagas o al desarrollo embrionario.
- Alteración del equilibrio bacteriano en suelos, destrucción de bacterias simbióticas
- fijadoras de nitrógeno, etc.
- En los seres humanos provoca enfermedades oculares (cataratas, ceguera), alteraciones del sistema inmunológico, dermatitis, quemaduras solares y sobre todo el aumento de cáncer de piel.

Las medidas preventivas y correctoras para disminuir o eliminar los efectos de este problema ambiental se centran en:

- Reducción del consumo de sprays o productos que contengan CFCS.
- Sustitución en sprays, refrigerantes (frigoríficos y equipos de aire acondicionado) y otras actividades industriales de los CFCS por otros productos que no afecten a la capa de Ozono.
- Reducción de la circulación de aviones en la estratosfera.
- Disminución del uso de abonos nitrogenados, Bromuro de Metilo, combustibles fósiles, etc.
- Legislación y acuerdos internacionales para reducir el consumo, utilización y producción de los compuestos causantes de la destrucción del Ozono (Protocolo de Montreal).



Pulsa sobre la imagen para ampliarla

Para saber más

- Explicación de los procesos, imágenes, enlaces con animaciones, causas.
- Páginas web de la NASA con información actualizada sobre los niveles de ozono y gráficos sobre su seguimiento, evolución y situación (I)
- Páginas web de la NASA con información actualizada sobre los niveles de ozono y gráficos sobre su seguimiento, evolución y situación (II)
- Información sobre el Protocolo de Montreal

Autoevaluación

Completa las siguientes frases:

La disminución de la capa de Ozono puede provocar diversas enfermedades en las personas, sobre todo lesiones oculares y .

La reducción de la capa de Ozono afecta a los microorganismos y por lo tanto al resto de integrantes de las .

En la atmósfera pueden ocurrir reacciones que neutralizan el efecto negativo del Cloro y Nitrógeno sobre el Ozono, que se denominan reacciones .

Indica si son verdaderas o falsas las siguientes frases:
Una molécula de Cloro puede destruir más de 100.000 moléculas de Ozono:

Selecciona... Verdadero Falso

La destrucción de Ozono por parte de los CFCS es importante como antropogénica, pero insignificante respecto a la causada por las emisiones volcánicas y las moléculas procedentes de los océanos:

Selecciona... Verdadero Falso

La incidencia de los sprays sobre la capa de Ozono se ha reducido enormemente al cambiar los propelentes utilizados:

Selecciona... Verdadero Falso

Efecto Invernadero y Cambio Climático

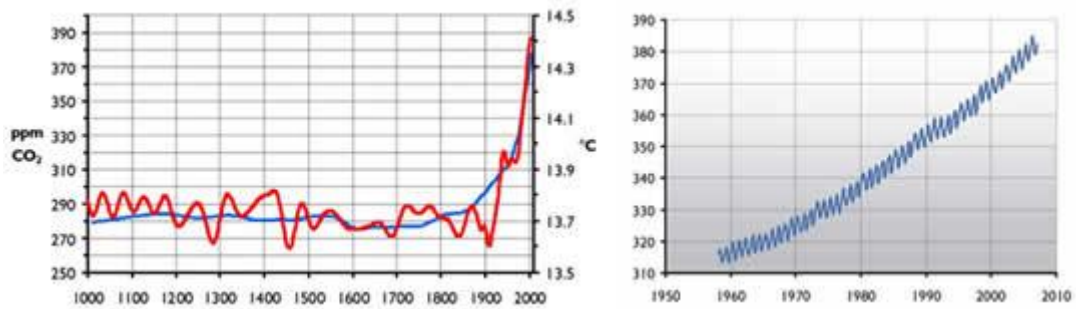
Como ya hemos visto en unidades anteriores el efecto invernadero natural es un proceso importante y necesario para la vida en la Tierra (ver unidades 1 y 2). Pero la emisión de enormes cantidades de gases invernadero (CO₂, metano, vapor de agua, N₂O, CFCS y Ozono troposférico) provocan el incremento del efecto invernadero, la atmósfera retiene y vuelve a reflejar hacia la superficie mayor cantidad de radiaciones y por lo tanto la temperatura terrestre se incrementa.

La participación de estos gases en el efecto invernadero depende de sus propiedades y de su concentración, como puede apreciarse en la siguiente tabla:

GAS	Acción relativa	Contribución al calentamiento	Principales fuentes antrópicas
CO ₂	1 (referencia)	76 %	Quema combustibles fósiles
CFCS	15.000	5%	Aerosoles y Refrigerantes

Metano	25	13 %	Minería de Carbón Fermentación bacteriana en intestino del ganado
N ₂ O	230	6%	Agricultura intensiva Fertilizantes Quema combustibles fósiles

Se puede concluir que el dióxido de carbono (CO₂) aunque relativamente tiene un efecto menor, debido a su abundancia es el principal responsable del aumento del efecto invernadero.

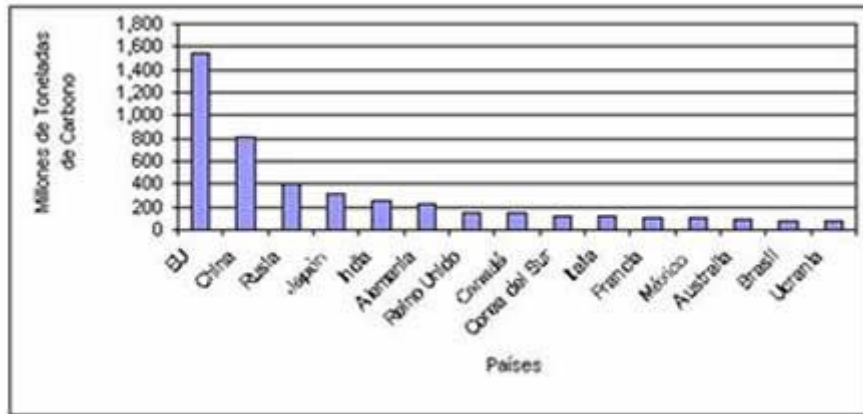


La concentración de CO₂ ha aumentado enormemente como se puede apreciar en la gráfica, pasando de 280 ppm (partes por millón) en la época preindustrial a superar los 381 ppm en la actualidad. Las fluctuaciones anuales se deben a la influencia de las estaciones y aumento de actividad fotosintética de los vegetales, con el consiguiente consumo de CO₂ y reducción de su concentración en la atmósfera.

Aunque a lo largo de la historia de la Tierra se han producido diversas variaciones climáticas, parece ser que la influencia de las actividades humanas son responsables del notable incremento de la temperatura en los últimos años.

- Las principales actividades antrópicas causantes del incremento del efecto invernadero son:
 - Utilización de combustibles fósiles.
 - Utilización de aerosoles.
 - Empleo de refrigerantes en frigoríficos y aire acondicionado
 - Minería de Carbón.

- Ganadería intensiva (metano producido en la fermentación bacteriana en intestino del ganado).
- Uso de fertilizantes en agricultura intensiva.
- Industria relacionada con espumas, aislantes, etc.
- Incendios forestales y quema de vegetación.
- Deforestación.



- Las consecuencias del aumento del efecto invernadero más importantes son:
 - Aumento de la temperatura global del planeta Cambio Climático.
 - Aumento de zonas desérticas
 - Variación de las precipitaciones: zonas sufriendo inundaciones y otras grandes sequías.
 - Subida del nivel del mar e inundación de zonas costeras.
 - Reducción de los casquetes polares, glaciares y aumento de Icebergs.
 - Reducción del efecto albedo y consiguiente aumento de temperatura.
 - Variación de las corrientes marinas y cambios en su efecto suavizador de la temperatura.
 - Deshielo del suelo helado de la tundra (permafrost) y liberación de los gases invernadero retenidos por la turba.
 - Proliferación de enfermedades tropicales y vectores de transmisión.
 - Efecto sobre las poblaciones de seres vivos.
 - Disminución de la producción de alimentos.
 - Incremento de incendios.
- Medidas para reducir el problema
 - Reducir las emisiones de gases invernadero.
 - Reducir el consumo de combustibles fósiles y promover y aumentar el uso de otras fuentes de energía.
 - Fomentar el ahorro energético y aumentar la eficiencia de maquinas, electrodomésticos, luces, etc.
 - Disminuir los incendios (producen CO₂ y reducen el consumo fotosintético).
 - Disminuir la deforestación.
 - Posibilidad de aumentar el efecto albedo lanzando polvo a la atmósfera, aunque puede tener efectos negativos.
 - Construcción de diques y medidas de contención para evitar la subida del nivel del agua.
 - Desarrollo de semillas resistentes a condiciones ambientales extremas.

Para conseguir reducir las emisiones se ha llegado a acuerdos internacionales que se iniciaron en la Conferencia de Río de Janeiro de 1992, donde se alcanza el Convenio sobre el Cambio Climático, en 1997 se elabora el Protocolo de Kyoto, que posteriormente se ha ido concretando y ratificando en diversas cumbres de estados, hasta la Cumbre de Bali en 2007, donde se alcanzó el compromiso de la mayoría de países, y sobre todo la adhesión de Estados Unidos (país que aporta la mayor cantidad de contaminación), para establecer límites a la producción de contaminantes, que deben ser concretados en un nuevo protocolo en la reunión que celebrará en Copenhague en 2.009.



Para saber más

🌱 Página web del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) con informes, documentos, glosario en castellano. Enlaza con su web en inglés con más información y datos actualizados.

🌱 Resumen simplificado del informe de 2007 del IPCC sobre el cambio climático.

🌱 Sección de la página web de la NASA que incluye animaciones de varios efectos del cambio climático (reducción de hielo glaciar, nivel del mar, emisiones de CO2, temperatura global)

🌱 Información básica sobre el efecto invernadero, gases causantes del incremento, protocolo de Kyoto, etc.

🌱 Completa información sobre contaminación atmosférica, efecto invernadero, cambio climático y otros temas relacionados.

Película: "Una verdad incómoda: una advertencia mundial." Paramount.

Película ampliamente galardonada, presentada por el político Al Gore. Muestra de forma clara y didáctica la problemática sobre el efecto invernadero y el cambio climático. Buenos gráficos y simulaciones sobre causas, consecuencias y previsiones sobre el cambio climático

Autoevaluación

Indica si son verdaderas o falsas las siguientes frases:
Los incendios forestales tienen doble incidencia en el aumento de CO₂, por un lado al quemarse la vegetación se produce CO₂, y por otro se reduce la captación de CO₂ para realizar la fotosíntesis:

Selecciona... Verdadero Falso

Aunque el cambio climático puede tener causas naturales, el actual incremento de temperatura global tiene un importante factor antrópico:

Selecciona... Verdadero Falso

El protocolo de Kyoto fue ratificado en 1997 por los principales países emisores de CO₂, estableciéndose límites a la producción de contaminantes:

Selecciona... Verdadero Falso

Relaciona cada uno de los gases invernadero con la actividad antrópica que los produce:

a) CO₂

Selecciona...

Quema combustibles fósiles Aerosoles y Refrigerantes Fermentación bacteriana en intestino del ganado Agricultura intensiva

b) CFCs

Selecciona...

Quema combustibles fósiles Aerosoles y Refrigerantes Fermentación bacteriana en intestino del ganado Agricultura intensiva

c) Metano

Selecciona...
Quema
combustibles
fósiles Aerosoles
y Refrigerantes
Fermentación
bacteriana en
intestino del
ganado
Agricultura
intensiva

d) N₂O

Selecciona...
Quema
combustibles
fósiles Aerosoles
y Refrigerantes
Fermentación
bacteriana en
intestino del
ganado
Agricultura
intensiva

Bioindicadores

Los bioindicadores o indicadores biológicos de contaminación son organismos que con su presencia o ausencia nos permiten deducir la presencia o no de contaminantes.

En relación con los contaminantes atmosféricos los más utilizados son los líquenes que son sensibles a la presencia de ciertos contaminantes como el SO₂, NO₂, FH, HCl, O₃, PAN o metales pesados, que les producen alteraciones morfológicas y fisiológicas. Por lo tanto la presencia, ausencia o mayor o menor abundancia de especies o individuos es un indicativo de la calidad del aire.



Otras plantas también pueden ser alteradas por diversos contaminantes y por lo tanto indicar su presencia, como por ejemplo el tabaco cuyas hojas se decoloran si hay contaminación por Ozono y el polen de plantas del género *Tradescantia* se utiliza para detectar compuestos con efectos mutágenos como el benceno, dioxinas o metales pesados, otras acumulan elementos o compuestos contaminantes en sus estructuras y al analizarlas se puede detectar su presencia, por ejemplo la col (género *Brassica*) acumula compuestos orgánicos o gramíneas del género *Lolium* fijan compuestos de azufre y metales pesados.



Para saber más

- 🌱 Información sobre líquenes, tipos, taxonomía, morfología, reproducción, ecología, etc.
- 🌱 Interesante actividad sobre el uso de plantas como bioindicadores, con imágenes de plantas y efecto de la contaminación.