



ATMÓSFERA

TEMA 4. LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

4.1 Los contaminantes atmosféricos más frecuentes. 4.2. Efectos de los contaminantes atmosféricos: alteración de la capa de ozono, lluvia ácida y aumento del efecto invernadero. 4.3. El cambio climático global. 4.4. Medidas de prevención para reducir la contaminación atmosférica.

Conceptos básicos: contaminante primario, contaminante secundario, islas de calor, smog, inversión térmica.

INTRODUCCIÓN.

Antes de hablar de contaminantes es preciso puntualizar que la atmósfera es indispensable para el desarrollo de la vida en nuestro planeta. Además de una “máquina” cuya dinámica influye en el clima, forma parte del ciclo del agua; constituye un agente geológico modelador del relieve; es un recurso para los humanos (la necesitamos para vivir) y a día de hoy se podría decir que se trata de un recurso no renovable en cuanto a que su alteración a gran escala y de modo permanente puede provocar daños al conjunto de los seres vivos en general y a los humanos, en su salud y su economía en particular.

Como en tantos temas ya tratados a lo largo de esta asignatura, queda claro que las actividades humanas causan múltiples impactos. La atmósfera también los recibe y, aunque no es un problema nuevo, hay que decir que la alteración de nuestra capa gaseosa se ha incrementado sobretodo a partir de la revolución industrial y por el uso masivo de combustibles fósiles. De tal modo que hoy día la contaminación atmosférica es un grave problema no sólo en lugares concretos, por ejemplo grandes ciudades y complejos industriales, sino en la globalidad del planeta; baste recordar el aumento del efecto invernadero y su influencia sobre el clima o la destrucción de la capa de ozono antártico.

En la contaminación atmosférica se suele diferenciar entre la contaminación del aire y la contaminación sonora.

Para centrar el tema, por último, hay que definir el propio **concepto de contaminación**.

Se entiende por contaminación atmosférica la presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgos, daños o molestias graves para las personas y bienes de cualquier naturaleza. Esta definición no dice que tengan que ser sustancias extrañas a la atmósfera, ya que también se considera contaminación del aire la presencia en él de una sustancia natural si un exceso de la misma provoca daños o molestias o si aparece en un lugar en el que no se da de forma habitual e igualmente provoca daños. El primer caso puede ser el del dióxido de carbono, que en altas concentraciones se ha demostrado dañino. Por otra parte, el ozono es un componente natural de la estratosfera, pero el que puede aparecer en la troposfera, a nivel del suelo, causa molestias y debe ser considerado un contaminante.

Tampoco hay que responsabilizar a los humanos de toda la contaminación atmosférica, pudiendo tener ésta un origen natural. Concretamente los materiales gaseosos y las cenizas arrojadas por los volcanes, los gases y cenizas producidos por los incendios naturales así como el polvo levantado por el viento son ejemplos de contaminación atmosférica de tipo natural. También lo son las emanaciones de gas sulfhídrico procedente de la descomposición de la materia orgánica (fermentaciones).



4.1. LOS CONTAMINANTES MÁS FRECUENTES Y SUS EFECTOS.

La contaminación atmosférica de origen antrópico o humano puede tener múltiples fuentes, dado que hay muchas actividades que emiten partículas o gases a la atmósfera, pero mayoritariamente están relacionadas con el uso de combustibles fósiles (en teoría, cuando se queman hidrocarburos se desprende únicamente dióxido de carbono y vapor de agua, pero estos combustibles contienen gran cantidad de impurezas que se emiten como contaminantes. Por otro lado, las combustiones incompletas originan contaminantes peores que los que se forman cuando hay exceso de oxígeno (así, el monóxido de carbono es más dañino que el dióxido de carbono).

Podemos clasificar las fuentes contaminantes antrópicas en: **origen doméstico**, debido a calefacciones; **transportes**, entre los que destacan los aviones, los automóviles y camiones; las **industrias**, principalmente las centrales térmicas, las cementeras, las siderometalúrgicas y las químicas.

Tipos de contaminantes.

Se consideran contaminantes del aire a las **sustancias químicas o formas de energía** que en concentraciones determinadas pueden producir molestias, daños o riesgos a personas y resto de seres vivos o bien ser el origen de alteraciones en el funcionamiento de los ecosistemas, en los bienes materiales y en el clima. (Recuerda la importancia de hacer definiciones puntillosas).

Diferenciamos entre sustancias químicas y formas de energía.

Sustancias químicas. Dentro de ellas distinguimos entre contaminantes primarios y contaminantes secundarios.

Contaminantes primarios. Son sustancias de naturaleza química (en cualquier estado) que se emiten directamente a la atmósfera como tales. Incluimos en este grupo:

- **Partículas**, que son sustancias sólidas o líquidas de tamaño muy pequeño (entre 0,1 y 100 μ). Su composición química es muy variable: polen, carbono, cenizas (arcillas y otros silicatos), metales pesados. Proceden de combustiones de combustibles fósiles, de industrias extractivas (minas y canteras) de incendios y de emisiones volcánicas. Al mezclarse con el aire forman **aerosoles**. [El humo negro de los motores diesel]. A gran escala, las partículas aumentan el albedo planetario (entra menos energía solar) y favorecen la lluvia (son núcleos de condensación del vapor de agua).
- **Compuestos de azufre.** Entre ellos el **dióxido de azufre** procedente de la combustión de carbón y petróleo y el **ácido sulfhídrico** (H_2S) originado en las refinerías de petróleo y en la putrefacción de materia orgánica (huele a huevos podridos). Ambos también se desprenden en las erupciones volcánicas. Los SO y SO_2 se emiten en grandes cantidades en las ciudades y son gases irritantes y corrosivos que pueden llegar a transformarse (contaminante secundario) en ácido sulfúrico (H_2SO_4) y provocar lluvia ácida.
- **Compuestos orgánicos.** Son muy abundantes los **hidrocarburos** (HC), en ciudades y zonas industriales. Se trata de compuestos de carbono e hidrógeno de pequeño peso molecular (no más de 4 ó 5 carbonos). Proceden de escapes de industrias que procesan combustibles pero también aparecen por escape de depósitos y vehículos así como por mala combustión de los mismos. De forma natural también pueden ser arrojados a la atmósfera por la descomposición de materia orgánica. El más abundante es el **metano**, tanto de origen antrópico como natural. Otros compuestos de este grupo son los **COVs** o **compuestos orgánicos volátiles**. Entre ellos destacan los **PCBs** (policloruros de bifenilo), las **dioxinas** y los **furanos**. Estos compuestos se generan en los procesos de tratamiento de compuestos clorados y en



la incineración de productos que contienen cloro. Se considera que son sustancias muy cancerígenas y peligrosas.

- **Óxidos de nitrógeno (NO_x).** Los hay que proceden de erupciones volcánicas y también de reacciones bacterianas sobre los nitratos de los suelos. Los resultantes de las actividades humanas provienen de la combustión de combustibles fósiles. Destacan el NO y el N₂O. Son gases tóxicos.
- **Óxidos de carbono.** Existen el **monóxido de carbono** y el **dióxido de carbono**. El CO procede de la combustión incompleta de combustibles fósiles. Es un gas incoloro e inodoro muy venenoso. Al ser respirado se combina de manera muy fuerte con la hemoglobina de manera que ésta no puede transportar oxígeno. Llega a alcanzar concentraciones preocupantes en las grandes ciudades (mala combustión de la gasolina) (Los braseros de picón producen monóxido de carbono y son responsables aun hoy de algunas muertes todos los inviernos en nuestro país). El CO₂ tampoco tiene color ni olor y no es tóxico pero allí donde se acumula (éste y el otro gas son más densos que el aire) desplaza al oxígeno de modo que podemos morir por asfixia casi sin darnos cuenta (todos los años se producen muertes entre los trabajadores que entran a limpiar o inspeccionar fosas sépticas. Este gas es típico ejemplo de sustancia que en sí misma no es un contaminante dada su existencia natural en la atmósfera, pero en exceso produce daños en los humanos o sus bienes.... nada menos que puede afectar al clima global de la Tierra.
- **Compuestos halogenados y derivados.** Son sustancias que contienen cloro o flúor en su composición. Destaca el cloro molecular **Cl₂**, el ácido clorhídrico **HCl**, el ácido fluorhídrico **HF** y los **clorofluorocarbonados, CFCs** o **freones**. El cloro se libera tras la combustión de derivados del petróleo y al quemar plásticos del tipo PVC (el cloruro de polivinilo se emplea ampliamente en la actualidad, por ejemplo para los conductos de aguas residuales, los canalones del agua de lluvia o las persianas enrollables de las ventanas y habrá que considerarlo también un contaminante secundario, liberado a partir de los freones en la alta atmósfera por fotorreacciones). El cloro es un gas irritante que puede producir problemas respiratorios y en la alta atmósfera es el responsable de la destrucción del ozono. El ácido fluorhídrico es emitido por ciertas actividades industriales y es, como el cloro, un gas tóxico e irritante con las personas y corrosivo con los materiales. Los freones son sustancias complejas que llevan cloro y flúor (y hoy día bromo en lugar de cloro). Son artificiales, muy estables (no se descomponen), no reaccionan con otras sustancias, son baratos de fabricar y son fácilmente compresibles (se les puede licuar sometiendo a poca presión). Por todas esas cualidades, los distintos freones tienen en la industria muchas aplicaciones: gases propulsores de los sprays o aerosoles; gases empleados para fabricar espumas plásticas (corcho blanco, gomaespuma, espuma de poliuretano, neopreno... y gases refrigerantes de los frigoríficos, congeladores y aires acondicionados. El escape accidental (por rotura de conductos de aire acondicionado) o como resultado de procesos industriales (producción de espumas) lanza estos gases, muy ligeros, hasta la estratosfera donde la luz ultravioleta es capaz de descomponerlos liberándose el cloro. Este cloro destruye con gran facilidad el ozono. Hoy día, demostrada esta relación causa-efecto los clorofluorocarbonados han sido prohibidos en muchos países y han sido sustituidos por otros gases "parientes" los bromofluorocarbonados: ahora todos los aerosoles y los aires acondicionados son "amigos del ozono". La realidad es que estos gases, por su composición, son casi idénticos a los anteriores y probablemente igual de dañinos. Algún día se conocerán sus efectos a largo plazo.
- **Metales pesados.** Son elementos químicos de alto peso atómico, en general metales. Forman partículas de muy pequeño tamaño que se mantienen en la atmósfera en pequeñas concentraciones pero aun así resultan muy dañinos. Su peligrosidad estriba



en que al entrar en los seres vivos no se descomponen ni se expulsan por lo que se acumulan a lo largo de la vida del individuo (**fenómeno de Bioacumulación**). Este aumento de concentración los llega a hacer muy tóxicos. El efecto tóxico se manifiesta con mayor intensidad en los organismos del final de las cadenas tróficas (carnívoros y humanos) [una mata de hierba puede en un momento captar unos pocos átomos de mercurio. Una vaca come al cabo de su vida muchas plantas. Una persona come muchas vacas al cabo del tiempo...] Existen muchos metales pesados en la atmósfera producidos en industrias pero también en la combustión de las gasolinas. Pueden destacarse **el mercurio, el plomo, el cadmio, el cinc o el arsénico**. [Hasta hace unos años ha habido gasolina con plomo. El plomo se empleaba para mejorar ciertas cualidades de la gasolina y tras entrar en combustión, el plomo era expulsado a la atmósfera]. Cada año que pasa hay nuevos elementos pesados en la atmósfera, el suelo y las aguas como resultado del empleo de novedosos materiales (un teléfono móvil contiene una batería de Níquel-Cadmio o de Litio; la luz es emitida por diodos de Arseniuro de Galio, la pantalla contiene Estaño con Indio y sus microprocesadores incluyen Niobio y Tántalo. Para unir algunos de sus componentes se emplea hilo muy fino de Oro. Ya vamos por la ¿cuarta? generación de móviles: ¿Dónde han ido a parar los millones de teléfonos estropeados, con baterías agotadas o simplemente anticuados que ya no queremos?)

- **Olores.** Los olores se definen como estímulos captados por el sentido del olfato, y están producidos por diferentes sustancias contenidas en el aire. Para que un olor se considere contaminante, lógicamente, deberá producir molestias a las personas. Es difícil catalogar los olores y no es sencillo decidir a partir de qué concentración un olor pasa a convertirse en contaminante: los olores tienen un importante componente subjetivo, ya que no todo el mundo es igualmente sensible a ellos. Además, existe una habituación en aquellas personas sometidas a un cierto olor durante mucho tiempo (quien tiene una vaquería no nota el mal olor mientras que a alguien que pase por sus inmediaciones le puede parecer insoportable). Hay muchas sustancias que producen mal olor, destacando los compuestos de azufre y, entre ellos, el ácido sulfhídrico procedente de ciertas industrias y resultado de fermentaciones de materia orgánica. Este gas se considera contaminante aún a bajas concentraciones. Aparte de industrias químicas, las fuentes más comunes de malos olores son los vertederos de residuos sólidos urbanos, las depuradoras de aguas residuales, las granjas ganaderas y las industrias agroalimentarias que producen residuos orgánicos (azucareras, papeleras, mataderos industriales, almazaras y orujeras (sus depósitos de jamila).

Contaminantes secundarios. Son contaminantes que se originan a partir de los primarios mediante reacciones que tienen lugar en la atmósfera. Son, por lo tanto, derivados de los primarios. En unos casos se produce una **reacción química entre dos o más contaminantes primarios** y, en otros casos, son ciertas formas de energía las que inducen la transformación, como las **reacciones fotoquímicas**, en las que el agente inductor es la radiación ultravioleta solar (la reacción puede involucrar a dos o más sustancias o puede consistir en la descomposición o transformación de un único contaminante primario). Los contaminantes secundarios más comunes son los siguientes:

SO₃ y **NO₂**, procedentes de la oxidación del SO₂ y NO. Estos compuestos a su vez reaccionan con el vapor de agua atmosférico transformándose en ácido sulfúrico, **H₂SO₄**, y ácido nítrico, **HNO₃**, respectivamente. Son los principales componentes de la "lluvia ácida".

O₃. El ozono formado en la baja atmósfera (ozono troposférico) lejos de ser una sustancia protectora (como el ozono estratosférico) es un gas muy oxidante e irritante, surgido por fotooxidación del NO₂ ($\text{NO}_2 + \text{luz UV} \rightarrow \text{NO} + \text{O}$; $\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3$)



Dado que este ozono se produce a partir de óxidos de nitrógeno y estos proceden de la quema de combustibles fósiles, aparecen con frecuencia en las ciudades, pudiendo formar parte de nieblas contaminantes o smog que se forman bajo ciertas condiciones climatológicas. Como es una molécula muy oxidante, el ozono puede además intervenir en la formación de otros contaminantes secundarios.

El **smog** (de *smoke*=humo y *fogg*=niebla), tanto normal como fotoquímico, es el resultado de una contaminación atmosférica en la que una situación de elevada humedad y mala dispersión (condiciones de estabilidad) pueden producir graves daños a la población. Es el tipo de contaminación que podemos apreciar en días de invierno en las grandes ciudades (el fenómeno de isla de calor que mantiene ese smog será comentado más adelante).

Formas de energía. Las formas de energía que en la atmósfera pueden suponer contaminación se dividen en tres tipos: radiaciones ionizantes, radiaciones no ionizantes y ruido.

Radiaciones ionizantes. Entran aquí las partículas de muy pequeño tamaño y alta energía (viento solar) y las radiaciones electromagnéticas de muy pequeña longitud de onda. El Sol las emite de modo natural (y son filtradas muy eficazmente por la magnetosfera – las primeras- y por la ionosfera –las últimas). [Algunas rocas, que contienen sustancias radiactivas, emiten radiaciones. Es el caso del granito o del mineral Celestina (sulfato de estroncio -hay un yacimiento en Jaén-)]. En el caso que nos ocupa, las partículas alfa (α) y beta (β), y las radiaciones gamma (γ) y los rayos X proceden de ciertas actividades humanas y son considerados muy peligrosos por su capacidad para desestabilizar a la materia viva induciendo mutaciones (que se ponen de manifiesto en enfermedades como el cáncer).

Estas radiaciones pueden proceder de escapes de centrales nucleares (no suele suceder, pero es un riesgo), de la manipulación de isótopos radiactivos en industria (se emplean por ejemplo para medir espesores de materiales), investigación (marcadores moleculares), medicina (para contrastes y para terapia contra el cáncer). Los residuos, una vez son desechados y almacenados también suponen un riesgo de contaminación. (→ Residuos nucleares).

Radiaciones no ionizantes. Dentro del espectro de radiaciones electromagnéticas, no son tan energéticas como las ionizantes (no ionizan los átomos a los que golpean). También las hay naturales procedentes del Sol, pero los humanos las producimos en grandes cantidades y variedades:

Rad. **ultravioletas**: proceden de los tubos fluorescentes, las bombillas de bajo consumo y las lámparas bronceadoras; rad. **infrarroja**, emitida por cualquier objeto calentado (la combustión produce además de dióxido de carbono grandes cantidades de esta radiación (calor); **microondas**, emitidas por las antenas de comunicación de los teléfonos móviles, por los propios móviles, los hornos de microondas, los radares y las líneas eléctricas de alta tensión. Los televisores y los monitores de los ordenadores (los de tubo de vacío, que tienen sus días contados) también emiten radiaciones no ionizantes de diferentes tipos.

Los efectos de todas estas radiaciones no están bien estudiados. Sin duda dependerán de la intensidad de la radiación, del tiempo de exposición de las personas y de la sensibilidad a las mismas de cada uno. Hay personas que hablan de daños muy graves (cáncer por vivir cerca de una línea eléctrica de alta tensión) y hay quienes afirman que son absolutamente inocuas.

Volviendo a las radiaciones infrarrojas, debe comentarse el hecho de que muchas actividades humanas desprenden grandes cantidades de calor. Pensemos que casi el 80% de la energía liberada por un motor de gasolina se pierde en forma de calor (el rendimiento en forma de energía mecánica es muy bajo). Pensemos ahora en los aparatos de aire acondicionado: se consigue producir frío “extrayendo” el calor de los edificios o de los vehículos y expulsándolo a la atmósfera. Resumiendo, el calor es el resultado de toda



actividad en la que se requiera energía y el mundo desarrollado emplea enormes cantidades de recursos energéticos que a corto plazo emiten calor.

Ruido o contaminación sonora.

Es difícil definir el ruido, puesto que un mismo sonido puede resultar molesto para algunas personas y no para otras. Depende, en muchos casos, de la situación y el momento concreto (el sonido de una ambulancia durante el día quizás no molesta y, sin embargo, a altas horas de la madrugada, puede interrumpir el descanso de las personas).

Una definición técnica sería la que considera el ruido como todo sonido excesivo o intempestivo que puede producir efectos fisiológicos o psicológicos no deseados sobre una persona o grupo de personas.

En los últimos años, los niveles de ruido han ido aumentando al hacerlo el grado de desarrollo de los países. España también ha progresado y nos cabe el tremendo orgullo de ser los primeros productores de ruido a escala planetaria: somos los más ruidosos del mundo, habiendo ganado a Japón, que era antes quien ostentaba el record.

Las principales fuentes de ruido son:

La industria. Es una fuente muy importante de ruido. Casi toda la maquinaria industrial produce un alto nivel de ruido (no tienes más que acercarte por la almazara en época de campaña y notarás que el ruido producido por los motores y los dispositivos que arrastran – molinos, centrifugadoras- es ensordecedor).

La agricultura. En nuestra tierra, los nuevos métodos de recogida de aceituna, con vibradoras y sopladoras que funcionan con motores de gasolina, el nivel sonoro ha aumentado sensiblemente en el campo: la temporada completa de la aceituna, jornada a jornada, puede ocasionar daños en los oídos de las personas que manejan estos artilugios si no se protegen.

Los medios de transporte. Vehículos en general, pero sobretudo coches, camiones y motos constituyen un problema grave de contaminación sonora (el nivel de ruido que hay en cualquier ciudad debido al tráfico rodado es muy alto durante una gran parte del día. El ruido de los aviones en las inmediaciones de los aeropuertos o de los trenes cerca de las estaciones son también problemas de difícil solución.

La construcción y las obras. Las obras producen unos niveles de ruido intolerables en muchos casos. Es debido a la utilización de maquinaria muy ruidosa (martillos neumáticos con sus correspondientes compresores, hormigoneras, radiales, carretillas con motor –dumpers- etc.).

Interior de los edificios. (Ruidos domésticos). Muchos de nuestros electrodomésticos e instalaciones producen ruido: cisternas, aspiradoras, animales domésticos, radio, televisión, equipos de música... (en las viviendas en las que hay personas mayores, debido a la sordera que suelen padecer, el nivel de ruido que emite la televisión suele ser insufrible).

Ruidos propios de actividades de ocio. Se trata de una de las fuentes que más ha aumentado en los últimos años. Los ruidos emitidos por bares, cafeterías, pubs y discotecas superan con creces en muchos casos los niveles marcados como máximos admisibles por la ley. Al ruido propiamente dicho hay que sumar el que conllevan estos lugares: motos, gente bebida que grita y personas en general que hablan en las inmediaciones. Como estas actividades suelen ser nocturnas, cada vez se alarga más el horario de cierre de los establecimientos y cada vez son más los días de ocio (ya no se limitan a los fines de semana) nos encontramos con que la contaminación sonora en ciudades y pueblos es extraordinariamente alta. La moda actual del “botellón”, en muchas zonas de pueblos y ciudades está provocando auténticos problemas sociales (hay que añadir otras molestias, como suciedad, inseguridad ciudadana, etc.). [Si has estado en la Feria de Jaén sabes de qué se está hablando].



Como ya se ha señalado, el ruido tiene un componente de subjetividad y están quienes lo sufren (los que quieren dormir) y quienes lo producen o lo escuchan de forma voluntaria, para los cuales no es tal ruido.

Los ruidos pueden tener efectos sobre el organismo, tanto físicos como psicológicos. Pueden ser muy variados dependiendo de cada persona y de otros factores: tiempo de exposición, horario de exposición, intensidad del ruido, frecuencias (nº de vibraciones por segundo) predominantes, edad del individuo, modo de vida, tipo de trabajo, etc.

Entre las **alteraciones fisiológicas** destacan la pérdida de audición, algo que sucede cuando se está sometido a altos niveles de ruido durante mucho tiempo. Se trata de una pérdida lenta que se suele acusar al cabo de muchos años (→sordera del calderero). [Los feriantes ponen tan alta la música de sus atracciones porque sin duda están sordos de mantener unos niveles exagerados de ruido feria tras feria].

Además, el ruido puede producir un estado de estrés que hace aumentar la frecuencia cardíaca y la presión arterial. Puede producir dolores de cabeza, mareos y vómitos.

En cuanto a las **alteraciones psíquicas**, dependen mucho de cada sujeto, pero las más frecuentes son las provocadas por el estrés: la ansiedad y la irritabilidad. El ruido “pone de los nervios”. Estas alteraciones psicológicas se dan mucho en aquellas personas que han tenido la mala suerte de vivir en una zona que se haya puesto de moda para la marcha de fin de semana o que estén próximas a un taller o industria que trabajen de noche. (De día se pueden asumir más ruidos, pero no dormir por la noche es una auténtica tortura que puede desequilibrar a la persona más templada).

Las medidas que pueden tomarse frente al ruido son **preventivas**: planificación del uso del suelo (ordenación del territorio), es decir, determinar de antemano dónde no se podrán realizar actividades que conlleven ruidos molestos (Por ejemplo, hoy no se puede montar una almazara nueva dentro de un pueblo). Estudios de impacto ambiental, mediante los cuales, muchas actividades para ser aprobadas deberán pasar por una evaluación de impacto ambiental, que dará el visto bueno o no en función de que el proyecto cumpla o no, en este caso, la normativa de ruidos (el proyecto de una discoteca debe someterse a calificación ambiental). La educación ambiental es otra medida preventiva: consiste en informar y hacer sensibles de este problema de salud pública y de respeto a las personas. Es difícil de llevar a cabo y para ser eficaz debe llegar a mucha gente. Es un tema poco tratado en este país.

Cuando ya hay contaminación sonora, las medidas que se tomen irán encaminadas a disminuirla; son **medidas correctoras**, tales como las de limitar y disminuir las emisiones.

[Existe una legislación sobre ruidos que pretende solucionar el problema de la contaminación sonora. El asunto es si se hará cumplir, teniendo en cuenta que culturalmente somos un país sin ninguna sensibilidad y respeto por el silencio y, en general, respeto a los demás. Haz la prueba: entra en un bar de tu pueblo y analiza las fuentes sonoras. Siempre hay un televisor encendido que nadie ve ni escucha, pero a todo volumen; también hay un equipo de música a toda marcha; no faltan varias máquinas tragaperras que cada dos minutos hacen ruido para llamar la atención y que la gente les regale su dinero; hasta la máquina del tabaco te da las gracias con sonido; el molino de café también se hace oír y por último, las personas gritamos para poder oírnos y para que nos oigan los demás].

La ley permite sancionar si no se toman las medidas pertinentes para que disminuya la intensidad de los focos emisores (como poner un limitador de volumen a los equipos de música de las discotecas o llevar un silenciador en el tubo de escape de las motos).

FACTORES QUE INTENSIFICAN LA CONTAMINACIÓN LOCAL:

La contaminación atmosférica depende de muchos factores y no sólo del tipo o tipos de contaminantes y de su cantidad. No obstante, en gran medida las condiciones climáticas ejercen una gran influencia.



El **nivel de emisión** de un contaminante es *la cantidad de ese contaminante vertido a la atmósfera, desde el punto de emisión, en un periodo de tiempo determinado*. Tras la emisión, mecanismos de transporte y de difusión o a veces de acumulación harán que la concentración de contaminantes disminuya o se concentre y que esto ocurra a una distancia del foco emisor menor o mayor. Por eso, para determinar la calidad del aire en un punto concreto, no nos vale con conocer el nivel de emisión de una fuente contaminante, sino que debemos conocer el **nivel de inmisión**, es decir, *la cantidad de contaminante presente en el punto considerado en un periodo de tiempo determinado*. Los niveles de inmisión se suelen analizar allí donde hay personas que pueden sufrir los efectos de la contaminación. Si la emisión es grande, pero los dispositivos de dispersión funcionan adecuadamente (chimeneas bien diseñadas, dirección adecuada de los vientos dominantes, etc.) los niveles de inmisión en zonas incluso próximas a la emisión pueden ser bajos y aceptables.

Con respecto a los factores que influyen en la dispersión, o por el contrario la intensificación de la contaminación atmosférica debemos tener en cuenta: las características de las emisiones; las condiciones atmosféricas y las características geográficas y topográficas del lugar estudiado.

1. Características de las emisiones.

Influyen en la dispersión: la *composición* (partículas o gases), la *concentración* de los contaminantes, la *temperatura* de salida y la *velocidad*. La *altura del foco emisor* (chimenea) también influye. Y más que la temperatura de los gases a la salida de la chimenea, influye la diferencia de temperatura con respecto a la del aire: cuanto mayor sea esa diferencia, con más facilidad subirán y se dispersarán los gases.

2. Condiciones atmosféricas.

Hay una serie de factores atmosféricos que influyen en una mayor o menor dispersión de los contaminantes:

a) La temperatura del aire y sus variaciones en altura, es decir, los **gradientes verticales de temperatura** y por lo tanto aquí entran las condiciones de estabilidad o inestabilidad de la atmósfera y los fenómenos de inversión térmica.

Una situación **anticiclónica** o de estabilidad atmosférica, con aire que baja hacia la superficie, provoca una dificultad en la dispersión de los contaminantes. En los meses de invierno, con frío pero con buen tiempo, se llegan a dar altos niveles de inmisión en zonas industriales y ciudades debido a esta situación (islas de calor).

Las **borrascas** o situaciones de inestabilidad atmosférica, debido a la ascensión del aire (baja presión), favorecen la dispersión.

Noches muy frías de invierno llevan en muchos lugares a la formación de gradientes verticales negativos próximos a la superficie, conocidos como inversiones térmicas. Las **inversiones térmicas** dificultan la dispersión de contaminantes, que sólo podrán ascender hasta el límite de dichas inversiones.

b) **Vientos** frecuentes y con direcciones determinadas (vientos dominantes) son buenos colaboradores en la dispersión de contaminantes.

c) Las **precipitaciones** arrastran muchos contaminantes lavando el ambiente. (Tras un día de lluvia, el aire se ve más limpio y podemos ver a gran distancia, y es que también queda barrido todo el polvo que contiene la atmósfera).

3. Características geográficas y topográficas.

La **situación geográfica y el relieve** tienen influencia en el origen de brisas que arrastran contaminantes ayudándolos a dispersarse o, todo lo contrario, a concentrarse.



Brevemente distinguiremos entre brisas de costa, inversiones térmicas de fondo de valle e islas de calor.

a) **Brisas de costa.** Se trata de vientos periódicos que soplan durante el día desde el mar hacia el interior, enviando hacia allí los contaminantes. Durante la noche soplan hacia el mar dispersando los contaminantes. (Si tenemos una industria localizada en la costa, durante el día es probable que cause molestias a localidades próximas del interior.

b) **Brisas de valle y montaña: Inversiones térmicas de fondo de valle.** En invierno con frecuencia se dan fenómenos de inversión térmica, al enfriarse el terreno rápidamente durante la noche y enfriar al aire en contacto con él. Este aire frío y denso desciende por las laderas y se acumula en el fondo del valle. El aire frío embolsado con gradiente invertido permite que los gases asciendan con facilidad (suelen emitirse calientes) hasta llegar al punto de cambio de gradiente, encontrándose con la barrera de la inversión. Las inversiones térmicas siempre causan una intensificación de la contaminación. Durante el día, las laderas se calientan antes que el fondo del valle, por lo que el aire en ellas asciende y deja aislado el fondo, que permanece más frío y continúa la situación de inversión térmica. (Como el aire se mueve ladera arriba y ladera abajo cambiando de dirección diariamente al fenómeno se le ha denominado *brisa de valle* (a semejanza de las brisas marinas). [Lo importante es saber que las inversiones térmicas dificultan la dispersión de la contaminación].

c) **Islas de calor.** En los núcleos urbanos, en tiempo frío y con estabilidad atmosférica (situación anticiclónica) se produce, debido a las emisiones masivas de calor procedentes de vehículos y calefacciones, un fenómeno que consiste en que el aire caliente se eleva en la zona central de la ciudad hasta llegar a una cierta altura. Las altas presiones reinantes no dejan escapar este aire caliente y su enfriamiento progresivo lo hace más denso por lo que deja de ascender y desciende por la periferia de la ciudad, creándose corrientes de convección que arrastran los contaminantes pero no los dispersan sino que los vuelven a traer. Así, el aire de la ciudad circula por convección limitando con el aire frío del exterior formándose una **cúpula de contaminación** que no puede escapar en esa auténtica **isla de calor** que es la ciudad (las dos masas de aire, que se encuentran a distinta temperatura, como ya sabemos, apenas se mezclan). (Esta cúpula de suciedad es muy patente en Madrid, de modo que a unos 30 kilómetros de distancia ya se aprecia, aun cuando todavía no llegan a verse los edificios). [esquema]

4.2. EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS: ALTERACIÓN DE LA CAPA DE OZONO, LLUVIA ÁCIDA Y AUMENTO DEL EFECTO INVERNADERO.

En este apartado se van a tratar los **grandes impactos** o **impactos globales** de la contaminación atmosférica, refiriéndonos tanto a la cantidad de contaminantes emitida como a la extensión del área afectada.

4.2.1. La alteración de la capa de ozono y sus consecuencias. Los estudios llevados a cabo sobre la capa de ozono estratosférica muestran grandes cambios en su espesor y concentración, debidos a la propia variabilidad de la intensidad solar (varía en las diferentes latitudes y estacionalmente: cuanto mayor es la insolación mayor es la capa de ozono). No obstante, de un tiempo a esta parte se viene observando una disminución del ozono en zonas concretas que corresponden a los polos (que de por sí son las regiones de capa de ozono más tenue). Es probable que se deba a causas naturales (oscilaciones) no bien conocidas, pero la contaminación humana también podría jugar un papel en su destrucción: se hace responsable a los gases arrojados por los aviones y el cloro, desprendido en muchas actividades humanas. Como principal fuente de cloro encontramos los freones o CFCs que son gases muy utilizados en distintos campos industriales. Estos CFCs a pesar de ser extremadamente estables (por eso se utilizan tanto) se descomponen en la alta atmósfera por la radiación ultravioleta liberando cloro, que es un gran destructor de ozono (se dan varias reacciones, de modo que el



ozono es descompuesto en oxígeno, pero lo peor es que el cloro queda libre y en disposición de destruir más moléculas de ozono).

El principal efecto de la destrucción de la capa de ozono es la del aumento de radiación ultravioleta que alcanza la superficie de nuestro planeta y a los seres vivos que allí habitan, incluidos nosotros mismos. Y la radiación ultravioleta en exceso está directamente relacionada con la formación de tumores (cáncer de piel). También parece disminuir la eficacia de la fotosíntesis.

4.2.2. La lluvia ácida. Los contaminantes secundarios SO_3 y NO_2 , procedentes de la oxidación de otros gases de azufre y nitrógeno desprendidos en la combustión de combustibles fósiles reaccionan fácilmente con el vapor de agua de la atmósfera produciendo ácido sulfúrico y ácido nítrico respectivamente. Ambos son ácidos fuertes muy agresivos con la materia orgánica y con muchas sustancias inorgánicas. El fenómeno se descubrió al observar en Suecia y Noruega la desaparición total de la vida acuática de muchos lagos y que grandes extensiones de bosques de abetos se secaban inexplicablemente. Los estudios llevaron a determinar que la causa era la formación de ácidos a partir de gases de combustión procedentes de una zona industrial de Gran Bretaña y que los vientos dominantes dispersaban en la dirección de los países mencionados de ahí que la lluvia ácida, la destrucción de la capa de ozono y la emisión de CO_2 sean considerados tres tipos de contaminación transfronteriza. Las consecuencias en los seres vivos ya están comentadas. La lluvia ácida ataca también a la materia mineral produciendo en los monumentos hechos con roca el llamado “**mal de la piedra**” que lleva a su desmoronamiento. En las grandes ciudades constituye un problema grave existiendo, no obstante, algunos tipos de rocas que son más sensibles que otras a este modo de agresión. La solución pasa por reducir las emisiones contaminantes y por el empleo de resinas plásticas que, a modo de barniz, recubren y protegen la superficie expuesta a la lluvia ácida.

[Estos ácidos, formados en la atmósfera pueden depositarse sobre la superficie del suelo y de los vegetales, hablándose de **deposición seca**, o pueden disolverse en el agua de lluvia precipitando con ella, en lo que se da en llamar **deposición húmeda**. En ambos casos, el efecto perjudicial es semejante].

4.2.3. El aumento de dióxido de carbono en la atmósfera y su influencia en el efecto invernadero.

En el tema 2 de atmósfera ya ha sido tratado el efecto invernadero. Por lo tanto, ya sabemos que cambios en las concentraciones de uno o más de los gases de efecto invernadero afectan directamente al grado de calentamiento de nuestro planeta. La Tierra ha sufrido en el último millón de años cuatro grandes glaciaciones y muchas otras menores (en términos generales, los periodos más fríos venían a durar unos 100.000 años, intercalados por periodos interglaciares de clima más cálido de unos 10.000 años). [Al estudiar los hielos acumulados en los polos correspondientes a tiempos pasados se han podido analizar las microburbujas de aire encerradas en la época en que cayó la nieve y granos de polen llevados por el viento. El estudio del polen nos indica qué tipo de plantas dominaban: si eran especies propias de climas fríos o por el contrario correspondían a plantas tropicales. Siempre se da la circunstancia de que los hielos formados en épocas de clima más cálido poseen en sus burbujas mayor concentración de CO_2 que la que aparece en los periodos de clima más frío, atestiguado por el polen].

Un aumento significativo de la concentración de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono, produce un clima más cálido y una disminución lleva a un clima más frío. Esta relación es clara, pero lo que no resulta tan fácil de saber es el porqué de estas variaciones naturales.

Lo que sí está demostrado es que una vez que comienza un periodo de cambio climático, dicho cambio suele ser muy rápido en términos geológicos (algunos miles de años).



Por ejemplo, un calentamiento global que produzca una ligera elevación de la temperatura del agua de los océanos lleva aparejada una disminución en la solubilidad del dióxido de carbono, lo cual significa que millones de toneladas que permanecían disueltas se desprenden del agua y pasan a la atmósfera, aumentando rápidamente el efecto invernadero y con ello todavía más la temperatura general de la Tierra. Por el contrario un enfriamiento global (debido por ejemplo a causas astronómicas), hace aumentar la solubilidad de este gas en el agua que pasará desde la atmósfera, haciendo disminuir el efecto invernadero y, por lo tanto, un mayor enfriamiento del planeta. En estos casos, la variación en la concentración en gases de efecto invernadero es la consecuencia del cambio climático, incrementándolo.

Por lo tanto hay algo claro: **las variaciones en la concentración de dióxido de carbono están relacionadas con el cambio climático**, en algunas ocasiones será la consecuencia de dicho cambio y en otras, será la causa del mismo.

4.3. EL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

Hay diferentes causas naturales que pueden explicar los numerosos cambios climáticos globales que han ocurrido a lo largo de la historia de la Tierra (ver presentación) y posiblemente esos grandes cambios se deban a la suma de varias causas simultáneas y no a una sola.

Las actividades humanas hasta hace apenas una decena de miles de años (una insignificancia en la historia de la Tierra) no alteraban los ecosistemas, dado el escaso número de individuos, su tecnología rudimentaria y su modo de vida de cazadores-recolectores. Pero el nacimiento de la agricultura, con la sedentarización y el aumento de la población así como el desarrollo de las tecnologías, sabemos que han ido aumentando la capacidad de nuestra especie para producir impactos en el medio ambiente.

Desde la revolución industrial, con el invento de la máquina de vapor y el uso del carbón como combustible, hasta nuestros días, en los que hemos sustituido ese recurso energético por los derivados del petróleo, se está modificando de forma perceptible la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Los países desarrollados empleamos ingentes cantidades de carbón y gas natural para obtener energía eléctrica en centrales térmicas, y casi todos nuestros sistemas de transporte (aviones, camiones y coches) emplean derivados del petróleo (keroseno, gasoil y gasolina).

En todos los casos, los combustibles fósiles son quemados de modo que se libera agua y dióxido de carbono, además de óxidos de nitrógeno y de azufre procedentes de las impurezas que contienen.

Anualmente se emiten a la atmósfera **millones de toneladas de CO₂**, un gas de efecto invernadero, como ya sabemos. Este aumento continuo se cree que puede ser responsable de un aumento también continuado de la temperatura media del planeta que se constata desde hace algunos años. Se debe insistir en que es posible que de modo natural estemos entrando en un periodo de calentamiento, pero sin duda las actividades humanas están favoreciendo aún más dicho incremento. [Por cada kilogramo de gasolina quemada se producen tres kilos de CO₂].

Los países ricos, que quieren desarrollarse más, y los países en vías de desarrollo, que empiezan a mejorar su nivel de vida, demandan cada vez más energía, por lo que el proceso no parece tener fin.

En el año 1.997 en la ciudad japonesa de Kioto se analizaron las posibles consecuencias de un cambio climático y se planteó un protocolo (conjunto de medidas) encaminado a reducir la emisión de dióxido de carbono poco a poco desde el año 2.008 al 2.012 hasta alcanzar unos niveles menores o iguales a los emitidos en el año 1.990 y a los que se comprometían 180 países. Para evitar la "pérdida" de desarrollo que supone el no quemar



más combustibles fósiles, los distintos países deberán ir implantando hasta la fecha señalada otras fuentes de energía que sustituyan a los combustibles fósiles. Hay subvenciones a plantas de energías alternativas como la eólica, la fotovoltaica o la de la biomasa. Pero años más tarde, en conferencias planteadas para saber como progresaban los diferentes países, ha habido algunos como Estados Unidos, Canadá, Australia o Japón que se han negado a ratificar el protocolo (USA es responsable de la emisión del 40% de los gases de efecto invernadero del mundo y la Unión Europea un 15%).

Nuestro país no escapa a la tendencia de aumento anual de emisiones y su compromiso con Kioto va a ser muy difícil de ser llevado a cabo, ya que no hay milagros energéticos y, hoy por hoy, ni los parques eólicos, ni la energía solar pueden sustituir a las fuentes de energía clásicas. Vuelve a hablarse de la energía nuclear como “buena” tras un periodo de “mala fama”.

Ya está comentado que hay otros gases de efecto invernadero. El vapor de agua también es desprendido en los procesos de combustión aunque no parece incrementar notablemente el efecto invernadero. El **metano**, sin embargo, sí es un gas con gran capacidad para retener y reemitir calor. Posee un efecto aún mayor que el dióxido de carbono y contribuye al aumento del efecto invernadero. Su origen es natural en principio, siendo producido en las zonas pantanosas y por los animales rumiantes. En las últimas décadas y debido al aumento espectacular de las explotaciones intensivas de ganado (mundo desarrollado) y de los cultivos de arroz en el sureste asiático (mundo en vías de desarrollo), su efecto ya comienza a dejarse sentir [Nueva Zelanda va a imponer un impuesto a las vacas –a sus dueños- por producción de gases de efecto invernadero]. [El arroz se cultiva en zonas encharcadas].

Como consecuencias derivadas del cambio climático global se prevén muchas, algunas de las cuales ya están aquí:

- Aumento del nivel del mar por deshielo de los casquetes polares e invasión de las costas (El 40% de la población mundial vive a menos de 60 Km. de la costa).
- Desajustes en el ciclo hidrológico: cambios en los regímenes de lluvias en muchos países. En unos se harán más frecuentes las sequías y en otros aumentarán los fenómenos de lluvias torrenciales.
- Enfermedades producidas por parásitos se extenderán a otros lugares.
- Todo lo anterior provocará problemas económicos y sociales de gran alcance en la mayor parte de los países, y eso nunca es bueno para la convivencia, como la experiencia confirma.

4.4. MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.

Vistos distintos aspectos de la contaminación atmosférica, se aprecia que es un problema complejo, que tiene repercusiones graves en la salud de las personas y que está afectando a la integridad del planeta. Las medidas encaminadas a disminuir la contaminación incluyen dos aspectos: el preventivo y el corrector.

Antes que nada al abordar estos problemas hay que llegar establecer qué se supone que es el aire limpio y hasta que niveles de sustancias y formas de energía pueden tolerarse como máximos admisibles. En otras palabras, hay que determinar cuáles son las características que marcan la **calidad del aire** y a partir de qué concentraciones podemos decir que hay contaminación. Una vez establecidos los niveles máximos de inmisión en una **legislación**, los organismos competentes deben vigilar que se cumplan analizando el aire y sancionando si no se cumple la ley.

Entre las medidas preventivas para evitar la contaminación o hacer que ésta sea mínima encontramos:

- **Planificación del uso del suelo o planes de ordenación del territorio.** Directamente, los mapas de uso del suelo determinarán qué actividades podrán realizarse o no en cada lugar.



- **Evaluación de impacto ambiental.** Incluso aunque el uso del suelo lo permita, un proyecto (industria, granja, etc.) deberá confeccionar un estudio de impacto ambiental en el que quede claramente marcado como se verá afectada la atmósfera. La evaluación dará el visto bueno o rechazará el proyecto o lo obligará a incluir medidas correctoras.
- **Empleo de tecnologías más limpias.** Continuamente se mejoran muchos diseños con el fin de disminuir los residuos de todo tipo desechándose los que quedan anticuados.
- **Educación ambiental.** Si las personas somos más sensibles con los temas de conservación de medio ambiente, todo resulta más fácil (si un empresario es consciente de la importancia de contaminar menos, intentará, aunque le cueste más dinero hacer las cosas bien. Si no le importa el tema intentará por todos los medios conseguir el máximo beneficio aun a costa del medio ambiente). [Te pueden obligar a hacer un curso de plaguicidas para evitar la contaminación del aire, del agua y de los alimentos, pero si no consiguen convencerte de lo perjudicial que resultan a largo plazo los malos hábitos, no vas a cambiarlos].

En muchos casos, las actividades humanas ya están generando contaminación. En estas circunstancias, hay que implantar **medidas correctoras**.

Las medidas correctoras son similares a las que se emplean en el diseño de los nuevos proyectos y van encaminadas a disminuir los niveles de emisión de contaminantes. Algunas de estas medidas son:

Sistemas de filtrado y retención de partículas. Hay multitud de dispositivos que se utilizan en función de las sustancias emitidas. Para partículas encontramos: Ciclones, filtros electrostáticos o mangas filtradoras.

Sistemas de depuración de gases. Haciéndolos pasar por un líquido, muchos gases quedan disueltos en él. Ciertas sustancias porosas pueden adsorber gases. Otros gases pueden quemarse con lo que los productos de la combustión son menos contaminantes (el metano desprendido en las plantas de depuración de aguas residuales se quema en un mechero porque el dióxido de carbono de la combustión tiene menos efecto invernadero que el metano). Ciertos gases pueden sufrir reacciones para transformarlos en otros menos dañinos mediante catalizadores (todos los coches nuevos están obligados a llevarlos).

Sistemas de emisión y dispersión. Aunque la cantidad de sustancias contaminantes sea la misma, un diseño adecuado del sistema de emisión puede ayudar a una dispersión eficaz y por lo tanto a una disminución de la concentración de contaminantes. Tanto el diámetro como la altura de las chimeneas son calculadas para favorecer este efecto. Una gran altura aleja los contaminantes de la zona de emisión (el aire se mueve a más velocidad a cierta distancia del suelo. Por otra parte, en zonas de inversión térmica invernal, una chimenea que sobrepase el límite de la inversión evita el problema de la no dispersión de los contaminantes. No obstante, en estos casos no eliminamos el problema del todo: disminuimos la concentración de contaminantes y simplemente nos los llevamos lejos.

Medidas de control de las emisiones. En nuestra Comunidad Autónoma, la Consejería de Medio Ambiente tiene la competencia de velar por la Calidad del aire. Para ello revisa los informes de inspección de los distintos contaminantes emitidos a la atmósfera por parte de determinadas empresas que emitan algún tipo de producto a la atmósfera. Estas empresas tienen la obligación de mantener instrumentos de medición en continuo de emisión y de inmisión de contaminantes.

La propia Consejería mantiene una Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire, que mediante una serie de estaciones remotas de medida, recoge datos continuamente de contaminantes químicos y parámetros meteorológicos, proporcionando información sobre la calidad del aire y detectando rápidamente posibles situaciones de alerta a la población (Por



ejemplo, en Jaén capital hay varias de estas estaciones automáticas de control que informan continuamente de los niveles de contaminación).

Medidas internacionales. Hasta ahora se han comentado medidas a tener en cuenta dentro de cada nación, pero dada la magnitud del problema de la contaminación atmosférica, que afecta a la *globalidad del planeta* y de que en muchos casos se producen fenómenos de *contaminación transfronteriza*, conviene recordar la firma del **Protocolo de Kioto** (diciembre de 1997) por parte de un gran número de naciones, con un compromiso claro de frenar las emisiones de gases de efecto invernadero.

En octubre de 2.006 se celebró la **Cumbre de Nairobi** con el fin de ver cómo se van cumpliendo los acuerdos de Kioto: pocos países están alcanzando los objetivos marcados.

La XV **Conferencia Internacional sobre el Cambio Climático, Copenhague**, en diciembre de 2009 ha vuelto a poner de manifiesto que hay demasiados intereses económicos en juego y que los países más contaminadores no están dispuestos a frenar su desarrollo (incontrolado).

Indicadores de contaminación. Bioindicadores: los líquenes.

La tecnología actual cuenta con instrumentos muy precisos que pueden captar y analizar multitud de componentes vertidos a la atmósfera. Estos sistemas de control pueden instalarse en focos de emisión (chimeneas) o pueden medir en distintos lugares la inmisión. Normalmente miden continua y automáticamente, y los datos son enviados por radio a centros de control (Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire). Estas estaciones de recogida de datos pueden encontrarse fijas en puntos determinados o pueden estar situadas sobre vehículos.

Existen otros sistemas de detección de contaminación atmosférica que, al menos en un primer momento, pueden dar información acerca de la calidad del aire. Desde hace algunos años se sabe que los **líquenes** (organismos formados por la asociación simbiótica de un hongo y unas algas unicelulares), que habitan sobre las rocas o sobre la corteza de los árboles, son muy sensibles a la contaminación atmosférica. Como no todos toleran los mismos contaminantes y además los hay más y menos resistentes a diferentes concentraciones, un estudio detallado de dichos seres y, sobre todo, la evolución que puedan sufrir a lo largo del tiempo, allí donde se estudien, resulta de gran utilidad.

Igualmente, estudios en el plancton de lagos, puede dar indicación del fenómeno de la lluvia ácida, dado que afecta a las poblaciones de microorganismos acuáticos. Aunque se trata de un fenómeno atmosférico, al final, la deposición de los ácidos en el agua será la responsable de los cambios en los ecosistemas acuáticos.