

## Lluvia Ácida

### ¿Qué es la lluvia ácida?

La lluvia ácida provoca impactos ambientales importantes. Ciertos ecosistemas son más susceptibles que otros a la acidificación. Típicamente, éstos tienen normalmente suelos poco profundos, no calcáreos, formados por partículas gruesas que yacen sobre un manto duro y poco permeable de granito, gneis o cuarcita. En estos ecosistemas puede producirse una alteración de la capacidad de los suelos para descomponer la materia orgánica, interfiriendo en el reciclaje de nutrientes. En cualquier caso, además de los daños a los suelos, hay que resaltar los producidos directamente a las plantas, ya sea a las partes subterráneas o a las aéreas, que pueden sufrir abrasión (las hojas se amarillean). Además, la producción primaria puede verse afectada por la toxicidad directa o por la lixiviación de nutrientes a través de las hojas. No obstante, existen algunos casos en que se ha aportado nitrógeno o fósforo al medio a través de la precipitación ácida en los que la consecuencia ha sido el aumento de producción ya que ese elemento era limitante.

Hay también evidencias incontrovertibles de daños producidos en los ecosistemas acuáticos de agua dulce, donde las comunidades vegetales y animales han sido afectadas, hasta el punto de que las poblaciones de peces se han reducido e incluso extinguido al caer el pH por debajo de 5, como ha ocurrido en miles de lagos del sur de Suecia y Noruega. Estos efectos se atenúan en aguas duras (alto contenido en carbonatos), que amortiguan de modo natural la acidez de la precipitación. Así, de nuevo, los arroyos, los ríos, las lagunas y los lagos de zonas donde la roca madre es naturalmente de carácter ácido son los más sensibles a la acidificación. Uno de los grandes peligros de la lluvia ácida es que su efecto en un ecosistema particular, además de poder llegar a ser grave, es altamente impredecible.(1)

El problema de la lluvia ácida tuvo su origen en la Revolución Industrial, y no ha dejado de empeorar desde entonces. Hace tiempo que se reconoce la gravedad de sus efectos a escala local, como ejemplifican los períodos de smog ácido en áreas muy industrializadas, así como su gran capacidad destructiva en zonas alejadas de la fuente contaminante. Una extensa área que ha sido objeto de múltiples estudios es el norte de Europa, donde la lluvia ácida ha erosionado estructuras, dañado los

bosques y las cosechas, y puesto en peligro o diezmado la vida en los lagos de agua dulce.

La preocupación por la lluvia ácida quedó de manifiesto por primera vez en foros internacionales de relevancia, como en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano celebrada en Estocolmo (Suecia) en 1972. En este encuentro, el gobierno sueco presentó una ponencia titulada "Polución del aire a través de las fronteras nacionales: el impacto del azufre del aire y la precipitación sobre el ambiente". En este estudio se ponía de manifiesto cómo los residuos oxidados de azufre, vertidos al aire por las instalaciones industriales alimentadas por combustibles fósiles situadas lejos de las fronteras suecas (en especial las centrales térmicas británicas), dañaban los ecosistemas del país nórdico al ser arrastrados por los vientos, transformándose en la atmósfera en ácido sulfúrico, y precipitar en el suelo y en las aguas interiores en forma de lluvia ácida. (2)

Por que se forma

La mayor parte de las sustancias acidificantes vertidas al aire son el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno. Se comenta aquí, como ejemplo, la ruta de acidificación del azufre: una gran parte del dióxido de azufre es oxidado a trióxido de azufre, que es muy inestable y pasa rápidamente a ácido sulfúrico. La oxidación catalítica del dióxido de azufre es también rápida. Se cree que en las gotas de agua se produce la oxidación implicando oxígeno molecular y, como catalizadores, sales de hierro y manganeso procedentes de la combustión del carbón. Además, puede producirse oxidación fotoquímica por la acción del ozono. En cualquier caso, la consecuencia es la formación de niebla con alto contenido en ácido sulfúrico. (3)

Daños de la lluvia ácida

La lluvia ácida provoca impactos ambientales importantes. Ciertos ecosistemas son más susceptibles que otros a la acidificación. Típicamente, éstos tienen normalmente suelos poco profundos, no calcáreos, formados por partículas gruesas que yacen sobre un manto duro y poco permeable de granito, gneis o cuarcita. En estos ecosistemas puede producirse una alteración de la capacidad de los suelos para descomponer la materia orgánica, interfiriendo en el reciclaje de nutrientes. En cualquier caso, además de los daños a los suelos, hay que resaltar los producidos directamente a las plantas, ya sea a las partes subterráneas o a las aéreas, que pueden sufrir

abrasión (las hojas se amarillean). Además, la producción primaria puede verse afectada por la toxicidad directa o por la lixiviación de nutrientes a través de las hojas. No obstante, existen algunos casos en que se ha aportado nitrógeno o fósforo al medio a través de la precipitación ácida en los que la consecuencia ha sido el aumento de producción ya que ese elemento era limitante.

Hay también evidencias incontrovertibles de daños producidos en los ecosistemas acuáticos de agua dulce, donde las comunidades vegetales y animales han sido afectadas, hasta el punto de que las poblaciones de peces se han reducido e incluso extinguido al caer el pH por debajo de 5, como ha ocurrido en miles de lagos del sur de Suecia y Noruega. Estos efectos se atenúan en aguas duras (alto contenido en carbonatos), que amortiguan de modo natural la acidez de la precipitación. Así, de nuevo, los arroyos, los ríos, las lagunas y los lagos de zonas donde la roca madre es naturalmente de carácter ácido son los más sensibles a la acidificación. Uno de los grandes peligros de la lluvia ácida es que su efecto en un ecosistema particular, además de poder llegar a ser grave, es altamente impredecible.

¿Cómo se produce?

Las fuentes de energía habitualmente utilizadas en las actividades industriales y urbanas (transporte, calefacción) son el carbón y el petróleo. La energía se obtiene de estas fuentes mediante un proceso de combustión, liberándose a la atmósfera el azufre y el nitrógeno que contienen en forma de óxidos: dióxido de azufre ( $SO_2$ ) y óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ).

Las fuentes antropogénicas de estos contaminantes primarios son tres:

- Emisiones industriales
- Gas de escape de los automóviles
- Emisiones urbanas (hogares)

El retorno a la superficie terrestre de estas sustancias y sus derivados ocurre de dos formas:

1. DEPOSICIÓN SECA: Normalmente ocurre a pocos kilómetros del foco emisor. Consiste en el retorno de los óxidos de azufre y de nitrógeno en forma gaseosa o de aerosoles (dispersiones de sustancias sólidas o líquidas en el aire con un tamaño que generalmente oscila entre 10–1  $\mu m$  y 10  $\mu m$ ).

2. DEPOSICIÓN HÚMEDA: Suele producirse tras el desplazamiento de los contaminantes primarios a zonas bastante alejadas del foco emisor, siguiendo la dirección de los vientos dominantes. Durante el transporte de estas sustancias, si entran en contacto con zonas de la atmósfera con alta humedad, se produce su oxidación, que sigue al parecer dos etapas:

· Etapa fotoquímica: Ocurre en fase gaseosa. El dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) se oxida a trióxido de azufre SO<sub>3</sub> gracias a la energía proporcionada por la radiación ultravioleta del sol.

· Etapa catalítica: Tiene lugar en fase líquida. consiste en la transformación del SO<sub>2</sub> original en ácido sulfúrico (SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub>), por disolución acuosa, siendo catalizada la reacción por las sales de hierro y de manganeso presentes en las gotas de agua. Parte de este ácido es neutralizado en la atmósfera por el amoníaco, originándose iones amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). El resto aparece disuelto en forma iónica (iones sulfato SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e iones de hidrógeno H<sup>+</sup>) en las gotas de lluvia, acidificando a ésta.

Los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) sufren un proceso similar al descrito, formándose ácido nítrico (NO<sub>3</sub>H) que también aparece disociado en forma iónica en las gotas de lluvia, confiriéndole (como el anterior contaminante secundario) acidez a la misma.

¿Qué consecuencias origina?

La lluvia ácida afecta a todos los sistemas ambientales. Produce efectos en la Sociosfera y en la Tecnosfera: las construcciones humanas en general, los edificios singulares, las pinturas, los productos metálicos (corrosión), etc. y a los propios seres humanos (efectos sobre la salud). También afecta a la Atmósfera (en el proceso fotoquímico de transformación del SO<sub>2</sub> y los NO<sub>x</sub> en ácidos se forma ozono) y a la Hidrosfera (acidificando lagos y humedales y alterando los sistemas acuáticos). La Biosfera y la Geosfera también sufren los efectos de la acidificación producida por las precipitaciones ácidas (debilitamiento y muerte de los bosques y acidificación del suelo).

La lluvia ácida causa entre otras cosas:

El cáncer de los monumentos

El sufrimiento de las plantas

Efectos de la acidificación sobre el medio ambiente

¿Qué podemos hacer?

Pueden seguir dos enfoques generales:

- Prevención de las emisiones mediante medidas correctoras de tipo tecnológico aplicadas a las fuentes contaminantes (actuación sobre las CAUSAS).
- Control de los efectos de los contaminantes mediante normas legales de calidad del aire que establecen unos límites (actuación sobre los EFECTOS)

Otras de las cosas que podemos hacer son las siguientes:

Ahorro energético

Empleo de tecnologías limpias

Aumento de la eficiencia energética

Potenciación de las energías renovables

Empleo de combustibles más limpios  
Potenciación del transporte colectivo  
Combustibles más limpios  
Aumento de la eficacia de los motores  
Proceso de producción más limpio  
Minimización de residuos