

LLUVIA ACIDA

(ACIDIFICACION DE LA ATMOSFERA Y SUS EFECTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE)

La lluvia ácida es producida fundamentalmente por la emisión de óxidos de nitrógeno (NOx) y anhídrido sulfuroso (SO₂). Estos gases y los compuestos ácidos formados a partir de los mismos pasan del aire a las nubes mediante la solubilización en el agua de las gotas que forman las nubes.

Luego, mediante varios mecanismos como son las lluvias, las nevadas, las nieblas y las deposiciones secas, se produce la acidificación de aguas y suelos.

El agua de lluvia limpia se puede considerar naturalmente ácida, dado que tiene un pH aproximado de 5,6. Esto es debido al dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera que es absorbido por las gotas de agua de las nubes formando una solución débilmente ácida de ácido carbónico.

Mientras tanto, la lluvia ácida tiene un pH entre 4,5 y 5,6, aunque se han observado pH Los principales compuestos que se encuentran en la lluvia ácida son :

- ácido sulfúrico: generado principalmente por las emisiones antropogénicas de SO₂ y las naturales de gas sulfhídrico (H₂S).
- ácido nítrico: generado por las emisiones antropogénicas de NOx.
- ácido carbónico: generado a partir del CO₂ que en su mayoría es de origen natural aunque parte procede de la combustión de combustibles fósiles.
- ácidos orgánicos: principalmente son: el acético, originado en procesos petroquímicos; y el fórmico, que proviene de la descomposición de hidrocarburos complejos.
- menores de 3.

Cuantificación de las emisiones

Las emisiones antropogénicas globales de SO₂ y NOx son:

SO₂: 100 millones de toneladas por año.

NOx: 50 millones de toneladas por año.

Las cantidades de SO₂ y NOx emitidas están directamente relacionadas con la densidad de población por lo que dicho fenómeno tiende a incrementarse con el transcurso del tiempo.

Un hecho que alerta a los países escandinavos sobre los efectos de la contaminación atmosférica sobre los seres vivos fue la merma y en algunos casos la desaparición de especies de peces en los lagos del sur de Escandinavia a partir de los años sesenta.

Fue así que se detectó la acidificación de las aguas de dichos lagos y de las aguas subterráneas, las que millones de personas utilizan para beber y que cuentan con una elevada concentración de metales. También los daños sobre los bosques de Europa Central fueron importantes.

Dentro de los contaminantes atmosféricos se destacan los oxidantes fotoquímicos, que son formados a partir de óxidos de nitrógeno, y los hidrocarburos volátiles bajo la influencia de la luz solar.

El oxidante conocido más común es el ozono (O₃) troposférico, altamente perjudicial para las plantas.

Como los oxidantes fotoquímicos no son ácidos es incorrecto hablar solo de la acidificación como la causa de los daños en bosques. Las causas de dichos daños son bastante complicadas ya que los contaminantes son arrastrados grandes distancias por la acción de los vientos, los cuales no respetan las fronteras entre los diferentes países.

Algunos países son netos «importadores» de contaminantes, mientras que otros por el contrario, son netos «exportadores» de dichas sustancias.

De lo visto se desprende que la acidificación es un problema internacional.

La acidificación y sus causas

La contaminación atmosférica afecta el medio ambiente directa e indirectamente. Es así que cuando en la atmósfera se presentan altas concentraciones de óxidos nitrógeno o dióxido de azufre, los mismos afectan directamente tanto a los seres vivos como también a otro tipo de materiales.

Puede suceder que los contaminantes antes mencionados reaccionen formando ácidos sulfúrico y nítrico, los cuales son arrastrados por los vientos antes de descender en lluvias y nevadas. Así es entonces que las aguas y los suelos se vuelven ácidos a grandes distancias de las fuentes de emisión de los contaminantes.

La magnitud de la acidificación depende de dos factores:

- de la magnitud que de dichos contaminantes desciende en las lluvias.
- de la resistencia que tanto el agua como el suelo ofrezcan a dicha acidificación.

Azufre como contaminante

Los óxidos de azufre y nitrógeno son las principales causas de la acidificación tanto del suelo como de las aguas.

Los compuestos de azufre son responsables de dos tercios del total de la lluvia ácida y los compuestos de nitrógeno del resto. Pero parte de los compuestos de nitrógeno no producen acidificación si los mismos son absorbidos por las plantas. Por dicha razón la polución real producida por los compuestos sulfurados es mayor a los dos tercios antes mencionados.

Dentro de dichos compuestos el SO₂ es el principal contaminante y se produce en la combustión de carbón y del petróleo crudo.

La concentración de azufre en el crudo varía de acuerdo a la procedencia del mismo por lo que se pueden dar valores de décimas de uno por ciento a dos o tres por ciento en peso.

En el carbón las concentraciones varían en un rango más amplio, mientras que en el gas natural los niveles son considerablemente menores.

El mayor consumo de crudos aumentó vertiginosamente luego de la segunda guerra mundial en Europa pasando en 1970 a valores 15 veces mayores que en 1945.

En el orden de 30 millones de toneladas son las emitidas en Europa anualmente. La mayoría de esta cantidad (80%) proviene de la combustión de crudo y carbón, mientras que el 20% restante proviene del resto de los procesos industriales.

Dentro de Europa Occidental, el país con mayor emisión es Gran Bretaña sobrepasada únicamente por la

Unión Soviética.

El valor anterior lo podemos comparar con los 16 millones de toneladas de azufre emitido por EE.UU. y los 75 millones de toneladas que es el total emitido anualmente por todo el planeta debido a las diferentes actividades realizadas por el hombre.

La atmósfera también recibe azufre proveniente de las erupciones volcánicas y de los mares y suelos.

Con respecto a Europa y EE.UU. los niveles emitidos son 10 veces superiores a los considerados naturales.

Nitrógeno como contaminante

Los principales compuestos nitrogenados que contaminan la atmósfera son el monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) que son agrupados con la denominación NO_x.

Dichos óxidos son formados durante toda clase de combustión, y a diferencia del azufre que proviene de los combustibles sólidos y líquidos, el nitrógeno proviene en su mayoría del aire necesario para que la misma se efectúe.

En Escandinavia aproximadamente dos tercios del total de óxidos de nitrógeno que contaminan la atmósfera proviene de los coches de transporte.

Anualmente en Europa se liberan a la atmósfera 20 millones de toneladas de dióxido de nitrógeno.

Debido a que las emisiones de óxidos de azufre están siendo controladas para abatirlas, las emisiones de óxidos de nitrógeno se convierten cada día en más importantes como acidificantes del medio ambiente.

También ciertos tipos de fertilizantes son fuente de compuestos nitrogenados contaminantes.

Es así que son liberadas cantidades importantes de amoníaco el cual causa un aumento en el pH de las lluvias, pero dicho efecto se elimina cuando los iones amonio (NH₄⁺) en la lluvia son convertidos por microorganismos en los suelos o absorbidos por los árboles luego de su contacto con los suelos.

Las grandes cantidades de contaminantes en base a nitrógeno provocan una sobrefertilización de los suelos. La mayoría de las plantas se adaptan a una deficiencia de nitrógeno, pero cuando se produce el fenómeno opuesto aparecen daños en la vegetación y se causan problemas secundarios como en la potabilidad de las aguas y los fenómenos de eutroficación de los cuerpos de agua.

Además la acidificación de los suelos producida por la reacción de nitratos provoca la liberación de sustancias peligrosas como el aluminio que ataca las raíces de los árboles y que al pasar a las aguas subterráneas llegan a los lagos depredando las colonias de peces.

Efecto de la acidificación sobre el medio ambiente:

La acidificación de las aguas de los lagos está directamente relacionada con la acidificación de los suelos ya que el 90% de las aguas pasan previamente por los suelos y solo el 10% proviene directamente de lluvias y nieve.

Las aguas de los lagos con problemas de acidificación son claras y de poca turbidez ya que las sustancias que constituyen el plancton precipitan sedimentando en el fondo.

La desaparición de peces es debida a una combinación de la disminución del pH de las aguas y el

envenenamiento provocado por el aluminio libre cuya concentración aumenta en medio ácido.

Otro efecto, aunque secundario, muy importante, es el crecimiento de las colonias de insectos debido a la desaparición de las especies de peces que se alimentan precisamente de esos insectos. O sea que es un efecto biológico indirecto que pone de manifiesto algo contrario a lo que primariamente se cree de que en lagos de aguas acidificadas no existe ninguna especie viviente.

Otro elemento nocivo para las especies vivientes es el mercurio, el cual aumenta su concentración en los peces produciendo efectos letales. La razón por la cual aumenta la concentración de dicho elemento en los seres vivos es que en medio ácido desaparece el alimento natural de dichas especies de peces lo que obliga a un cambio en la alimentación de los mismos, éstas tendrán que nutrirse de otras especies de peces (que ya tienen mercurio) agudizando así el fenómeno antes mencionado.

Acidificación de suelos

Varios procesos de acidificación tienen lugar en forma natural en los suelos. Uno de los más importantes es la absorción de nutrientes por las plantas a través de los iones positivos. A su vez las plantas compensan lo anterior liberando iones hidrógeno positivos. Por lo tanto el crecimiento de las plantaciones es de por sí acidificante mientras que la muerte de la misma provoca el efecto contrario. Es decir que en un ecosistema donde el crecimiento y el envejecimiento son aproximadamente iguales no se produce una acidificación neta. Pero si el ciclo se rompe por cosechas, la acidificación dominará.

En el caso de bosques de coníferas existe usualmente una acumulación de residuos de plantas no totalmente muertas las cuales provocan un efecto acidificante similar al descrito anteriormente. Pero el problema grave de acidificación de suelos ocurre cuando la acidificación proviene del exterior y no solo de los procesos naturales normales.

A su vez esa acidificación externa provoca los siguientes efectos biológicos:

- Disminución de los valores de pH
- Incremento en los niveles de aluminio libre y otros metales tóxicos en las aguas que están en contacto con dichos suelos.
- Pérdida de los nutrientes de las plantas como el potasio, calcio y magnesio

Se constató además que el efecto buffer de los suelos no poseen el poder suficiente como para neutralizar dicha acidez que en el caso del sur de Escandinavia llega a valores de 0,3 a 1 unidad de pH.

Es de remarcar también que estos valores de pH no solo se dan en las capas superiores sino que los mismos se extienden hasta profundidades de 1 metro.

En este tipo de suelos desaparecen las bacterias y demás especies que tienen como función descomponer la materia animal o muerta pasando a desempeñar dicha función los hongos presentes. Pero, debido a que estos organismos realizan su función mucho más lento, gran parte de los nutrientes son perdidos agravando aún más la situación.

La acidificación tiene lugar más lentamente en los suelos que en las aguas debido al mayor efecto buffer de los primeros. Pero una vez que se inicia la pérdida de nutrientes en los suelos es mucho más difícil de detenerla.

Por lo tanto aún cuando se reduzcan drásticamente las emisiones, el proceso presumiblemente continuará por un largo tiempo.

Efecto de la acidificación sobre los bosques

Los árboles dañados exhiben una serie de síntomas pero es muy dificultoso establecer una conexión entre cada tipo de daño y las causas correspondientes.

El aire contaminado afecta directa e indirectamente los árboles.

Los efectos directos consisten en daños sobre las hojas debido a que la capa de grasa protectora es corroída por el depósito seco de dióxido de azufre, la lluvia ácida o el ozono.

Además las membranas constituyentes de la estructura interna del árbol son atacadas provocando la pérdida de nutrientes.

Los efectos indirectos están relacionados con la acidificación del suelo lo que produce una reducción de nutrientes y una liberación de sustancias perjudiciales para el árbol como lo es el aluminio.

La sensibilidad de las diferentes especies frente a los contaminantes atmosféricos varía de acuerdo con la superficie de las hojas y la caducidad de las mismas.

El daño sobre los abetos se traduce en un color marón amarillento de sus hojas, pérdidas de las mismas y deterioro de sus raíces.

Los pinos sufren también decoloración con estrechamiento de su extremo cónico superior por pérdida de sus hojas.

Incidencia de los deterioros sobre los bosques

La forestación en Escandinavia es importante para toda Europa Occidental dado que es la mayor fuente de materia prima en la industria de la madera. Cerca del 80% de su producción está destinada a la exportación.

Además los bosques son el ambiente natural para varias especies de Insectos, pequeños animales, plantas y mamíferos de mayor tamaño.

Por último no se debe olvidar la función que desempeñan en el mantenimiento de la economía del agua y en la regulación de los climas tanto locales como regionales.

Efectos sobre la fauna y la flora

Con respecto a las plantas, las especies que se ven más afectadas son los líquenes y los musgos que toman directamente el agua a través de sus hojas. Además estas especies son indicadores directos de la contaminación atmosférica como es el caso de los líquenes respecto a las emisiones de SO₂.

También en el caso de los pájaros pequeños que viven cerca de aguas acidificadas se ve afectada su reproducción.

Los huevos de varias especies de pájaros aparecen con paredes muy delgadas debido al aluminio ingerido a través de los insectos de los cuales se alimentan. Dichos insectos precisamente se desarrollan en aguas acidificadas .

Los animales hervíboros se ven afectados ya que al acidificarse los suelos, las plantas que aquellos ingieren, acumulan una mayor cantidad de metales pesados (aluminio, cadmio, etc.).

Resumiendo lo anterior, se puede afirmar que la fauna también se verá afectada por los cambios en la composición y estructura de la vegetación.

Si, por ejemplo, los bosques son dañados, se producirán grandes cambios en las especies animales que integran el ecosistema forestal.

Efectos sobre las aguas subterráneas

Parte importante de las precipitaciones penetran a través del suelo y cuanto más permeable sea el mismo, más profundidad alcanza.

En áreas donde el suelo está densamente compactado, la casi totalidad del agua caída fluye hacia los lagos u otras corrientes.

El agua que ha percolado alcanza por último, niveles donde el suelo está completamente saturado pasando a formar parte de las aguas subterráneas que son la principal fuente de suministro de agua.

Las aguas en los lagos son siempre más ácidas que las aguas subterráneas debido a la función de filtro que desempeña el suelo, removiendo así gran parte del ácido.

Si el suelo está constituido por material finamente granulado y el pozo de extracción es lo suficientemente profundo, el agua de lluvia ha sido neutralizada y al ser extraída no presenta problemas de acidificación.

La acidificación de las aguas subterráneas se realiza en tres etapas.

Primero disminuye la capacidad de los suelos de neutralizar las precipitaciones. Aumentan los niveles de sulfato, calcio y potasio, en las aguas subterráneas, no existiendo ningún otro efecto que altere la calidad del agua.

En esta etapa el agua se torna corrosiva y ataca las cañerías.

Luego de esta etapa la acción neutralizante del suelo decae aún más y el efecto buffer de las aguas subterráneas comienza a disminuir. Se nota en esta etapa un aumento en el poder corrosivo sobre metales y concreto.

Por último, la capacidad neutralizante del suelo desaparece y los valores de pH descienden con un aumento en las concentraciones de metales en las aguas de los pozos, tornándose aún más corrosivos.

Efectos sobre la salud humana

No está del todo claro que las aguas subterráneas ácidas sean por sí mismas nocivas para la salud. Pero sí se conoce el efecto negativo de los metales como el aluminio y el cadmio que se liberan en la tercera etapa a pH inferiores a 5. Aunque se ha encontrado en algunos casos altos niveles de plomo, zinc y cadmio aun a pH superiores (entre 5,2 y 6,4).

Con respecto a los metales tenemos:

- Cadmio: Es el más móvil de los metales pesados comunes y debido a las altas concentraciones presentes en los países industrializados, es necesario alertar sobre su presencia. El cadmio se acumula en la corteza renal causando graves lesiones. Las principales fuentes son los fertilizantes y las debidas a la acidificación de las aguas subterráneas.
- Cobre: Debido a que es el metal con el cual se construyen la mayoría de las cañerías, cuando las aguas

se tornan corrosivas dicho elemento es disuelto. Uno de los efectos más comunes sobre la salud es la diarrea infantil.

- **Aluminio:** Es el más común en la corteza terrestre y si bien está unido a los minerales que constituyen la misma, la acidificación lo torna altamente soluble. El aluminio penetra en la corriente sanguínea en forma directa pasando las barreras de protección normales del ser humano y provocando graves daños al cerebro y al sistema óseo. Si la concentración es muy elevada puede causar demencia senil y muerte.
- **Plomo:** También se libera por acidificación de las aguas y en los países donde este elemento es utilizado para la construcción de las cañerías de agua la situación se puede tornar bastante peligrosa. Dicho elemento provoca daños considerables a nivel cerebral, sobre todo en los niños.

Corrosión provocada por la contaminación atmosférica

Dentro de los agentes corrosivos el dióxido de azufre es el principal aunque también contribuyen los óxidos de nitrógeno y la lluvia ácida.

En cuanto a los materiales que son atacados por dicho fenómeno, existe una gran variedad que va desde los metales conocidos pasando por el granito y concreto hasta los plásticos, textiles y papeles.

Otros materiales son atacados por acidificación de las aguas en los casos que aquellos formen parte de las cañerías de distribución de aguas o simplemente cañerías subterráneas ubicadas en suelos acidificados.

Medidas para mitigar dicho Fenómeno

Con respecto a las medidas a tomar para evitar la acidificación de las aguas, la solución a largo plazo es la reducción de las emisiones.

Con respecto a las medidas a corto plazo tenemos la neutralización de lagos y demás corrientes de aguas, mediante el agregado de una base, lo que provoca un aumento de pH. La acción anterior causa la precipitación del aluminio y otros metales que luego sedimentan en el fondo y además está relacionado con la disminución en los niveles de mercurio en los peces.

Si bien la medida antes mencionada permite restituir las condiciones de vida de flora y fauna en esas aguas, aparecen problemas por la acumulación de metales tóxicos en los lechos de los cursos.

Con respecto a las aguas subterráneas la acidez se puede combatir colocando un filtro de carácter básico cerca del fondo del pozo para que actúe como neutralizante. Alternativamente el suelo cercano a la zona del pozo puede ser tratado con una sustancia básica.

Pero si solo se desea contrarrestar la corrosión, esto puede ser realizado mediante la sustitución del cobre por otro material menos susceptible en la construcción de las cañerías.

Este tipo de soluciones, como dijimos al principio, son efectivas para un corto período de tiempo y por lo general son caras, teniendo en cuenta que quien las paga no fue quien realmente causó el problema.

Para lograr el objetivo de limitar las emisiones se debe usar la tecnología más adecuada para la combustión así como de limpieza de los gases desprendidos.

La mayor parte del azufre emitido sobre Europa proviene de la combustión de carbón o combustibles líquidos en plantas de generación de energía. Existen métodos para limitar las emisiones antes, durante y después de la combustión.

Una alternativa es el uso de combustibles con bajo contenido de azufre. En el caso de los óxidos de nitrógeno se pueden reducir mediante el cambio en los métodos de combustión, un ejemplo son los quemadores de baja producción de NOx los que requieren menor exceso de oxígeno, tiempos más cortos de combustión y menores temperaturas.

Alternativamente se pueden purificar los humos mediante métodos catalíticos los cuales permiten la reacción de los óxidos de nitrógeno con amoníaco convirtiéndolos en nitrógeno gas y agua.

Debido a que un alto porcentaje de los óxidos de nitrógeno provienen de los vehículos de motor, las medidas a tomar son la reducción del tránsito carretero, establecimiento de límites de velocidad y la imposición de obligatoriedad en el uso de los convertidores catalíticos.

Con respecto a los gases de escape de los automotores veremos las diferentes formas de reducir los escapes de óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y monóxido de carbono.

Lo primero que hay que tener presente es un diseño adecuado del motor que permita una combustión lo más completa posible. Con la recirculación de los gases de escape las emisiones de óxidos de nitrógeno pueden en parte reducirse.

La inyección controlada de fuel permite a su vez evitar la emisión de partículas que son producto de una combustión incompleta.

Para reducir las emisiones de hidrocarburos los autos deben ser equipados con un catalizador para oxidación. El sistema más eficiente para la purificación de los gases de escape de los automotores es el convertidor catalítico el cual transforma más del 90% de los óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y monóxido de carbono en nitrógeno, dióxido de carbono y agua.