

ATMÓSFERA II

LLUVIA ACIDA

La definición es "agua de lluvia que presenta un contenido anormalmente elevado de ión sulfato, produciendo un nivel de pH entre 2 y 5, resultado de la contaminación del aire ocasionada por la quema de combustible con un elevado contenido en azufre".

Por precipitación entendemos no sólo deposición sólida (nieve o granizo), sino una agrupación de gotitas de niebla además de la lluvia. Esta lluvia ordinaria es ligeramente ácida porque al caer disuelve algo del CO_2 atmosférico (pH = 5.5-6). Pero en regiones industrializadas es mucho más ácida, con un pH cercano a 4,5 o incluso cercano a 1,5.

Su principal causa se debe a la presencia en la atmósfera de ciertos contaminantes, destacando los óxidos de azufre y los de nitrógeno.

La lluvia ácida "normalmente" es una consecuencia directa de los mecanismos de autolimpieza de la atmósfera para arrastrar todas las impurezas acumuladas en la formación de las nubes. Además, no todo el SO_2 y el NO_3 son de origen antropogénico; la misma naturaleza es culpable de muchas de las emisiones de óxido de azufre, presente en las erupciones volcánicas, en los seres vivos (como bacterias saprofitas descomponedoras). Aunque representen el 95 % del SO_2 que se genera en la atmósfera, son procesos naturales y, por tanto, forman parte del ciclo natural. Ha sido la actividad humana la que ha otorgado a estas reacciones un protagonismo inmenso.

Las fuentes artificiales de SO_2 son fundamentalmente los procesos de combustión de carbón, piedra, petróleo y derivados, gas natural y la fundición de minerales.

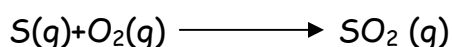
Los óxidos de nitrógeno también son culpables en determinadas regiones de Estados Unidos. Casi todo el monóxido de nitrógeno existente en la atmósfera procede directamente de fuentes naturales, en un 80 %, mientras que casi todo el NO_2 atmosférico es de origen antropogénico. El de origen natural procede de la actividad bacteriana que degrada los compuestos nitrogenados mientras que la combustión es la principal fuente antropogénica de óxidos de nitrógeno.

También son responsables de las precipitaciones ácidas los compuestos alifáticos y aromáticos. En algunas zonas de Gran Bretaña existen precipitaciones de HCl, de particular densidad en las zonas más industrializadas de Europa y Norteamérica.

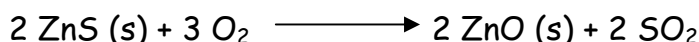
También existen partículas de carga positiva o cationes, como iones calcio, sodio, potasio, magnesio o amonio, que proceden de la superficie terrestre y, sobre todo, del mar. Son muy solubles, por lo que sufren arrastre en disolución hasta los ríos y de allí al mar, del que pasan por evaporación a la atmósfera. Son capaces de contrarrestar los efectos de las sustancias ácidas neutralizándolas. Sin embargo, poseen la capacidad de generar precipitaciones de carácter básico, de consecuencias igualmente negativas.

El ciclo de reacciones se desarrolla en la troposfera, los 10-12 primeros km. Comienza cuando un fotón de luz solar choca con una molécula de ozono, que puede haber descendido de la estratosfera o bien haberse formado en la misma troposfera. De la interacción del fotón con la molécula de ozono se produce la disociación de ésta en oxígeno molecular (O_2) y atómico (O), el cual se combinará con una molécula de agua para formar dos radicales hidroxilo (OH). Esta especie es muy activa y transforma el NO_2 en ácido nítrico HNO_3 iniciando las reacciones que transforman el dióxido de azufre en ácido sulfúrico. Tras la oxidación inicial del SO_2 es el radical hidroperoxilo (HO_2) el que reacciona con el NO para producir dióxido de nitrógeno y un nuevo radical hidroxilo.

En los procesos de combustión del carbón o combustibles fósiles, los gases residuales que se liberan a la atmósfera contienen azufre que reaccionará con el oxígeno molecular:

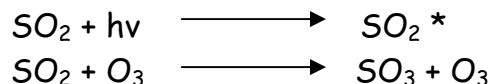


También se produce dióxido de azufre en la tostación de sulfuros metálicos en la industria metalúrgica:

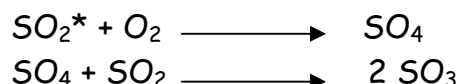


Sin embargo, la quema de combustibles fósiles en la industria, en las plantas y subestaciones generadoras de electricidad y en los hogares producen la mayor parte del dióxido de carbono emitido a la atmósfera.

El ozono es ahora el agente de la oxidación directa de este SO_2 en trióxido de azufre, como lo es el oxígeno atómico. Este, muy inestable, puede reaccionar con cualquier sustancia de la atmósfera, aunque las concentraciones son muy bajas.



La molécula fotoexcitada por la luz del Sol puede desencadenar:



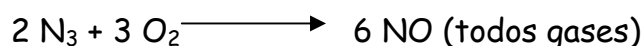
Todo en fase gaseosa. En otra serie de reacciones, el polvo (incluido el hollín) y otras partículas pueden actuar como catalizadores heterogéneos de la reacción normal de formación del trióxido.

Las vías indirectas para la oxidación del SO_2 también son importantes. Intervienen los radicales OH^- , OHO^- , y CH_2OHO^- . También pueden ser absorbidos en la superficie de algunos sólidos, donde ocurre entonces su oxidación, ya sea por el ozono o por otras moléculas. La oxidación del dióxido de azufre ocurre según:

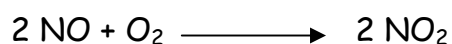


Esta molécula de trióxido en presencia del vapor de agua se transformará en ácido sulfúrico que se disuelve en las gotas de agua dando lugar a la lluvia ácida.

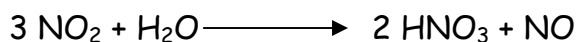
El monóxido de nitrógeno (NO) se forma por reacción directa, a elevada temperatura, entre el nitrógeno y oxígeno del aire, como ocurre en los motores de combustión interna:



Este compuesto se transforma en la atmósfera en dióxido de nitrógeno:



El dióxido de nitrógeno se transforma a su vez reaccionando con el agua para formar ácido nítrico que formará parte de la lluvia ácida:



La vida media del dióxido de nitrógeno en la atmósfera en presencia de radicales hidróxidos, con los que forma el ácido nítrico es de sólo un día frente a los 7,7 del dióxido de azufre. Así pues, la lluvia ácida debida al ácido nítrico está asociada a efectos de escala sinóptica, es decir, más reducida que la del sulfúrico.

Ambos, pueden abrirse paso fácilmente en las nubes. El nítrico se disuelve enseguida en las gotas de agua dispersas en las nubes. El sulfúrico se condensa para formar gotas microscópicas. Una fracción de ellas se deposita en el suelo (sedimentación ácida), que también designa la captura del SO_2 por la vegetación.

La lluvia ácida puede caer a centenares de Km del foco emisor. Una vez transportada y asentada allí puede experimentar un nuevo episodio de alteraciones físico químicas que vuelven a modificar las características químicas del agua. En una región el factor suelo y su composición determinará en gran medida el grado de absorción de las especies ácidas. Un suelo rico en caliza, puede neutralizar el ácido directamente. En suelos ácidos, típicos de Europa, Canadá y EEUU, en los bosques de coníferas expuestos a la lluvia ácida los efectos de esta deposición pueden sufrir mella por acción de dos procesos: el ácido queda inmovilizado a medida que el suelo y la vegetación retienen los iones sulfato y nitrato, o bien esta acidez se neutraliza gracias a un proceso de intercambio de cationes.

La amplitud de retención y el intercambio catiónico dependerá de la geología del terreno, de la vegetación y del régimen hidrológico, entre otros.

El agua contaminada puede seguir dos caminos para acumularse en ríos y lagos: bien directamente desde la precipitación, bien a través de unas filtraciones desde aguas subterráneas. Al llegar una corriente de agua puede contener bicarbonato y otros iones básicos que procedentes de una meteorización rocosa serán capaces de neutralizar una entrada de ácido, impidiendo que el valor del pH caiga por debajo de 5. La concentración de estos iones se llama capacidad de neutralización de ácidos (CNA). Si el valor de la CNA es muy alto significará que un río o un lago estarán protegidos contra la lluvia ácida, al menos por un tiempo determinado, en función de ese valor de CNA. Un lago con CNA de valor cero se mantendrá sano en tanto permanezca alejado de la lluvia ácida.

Un lago o río acidificado son fácilmente reconocibles. Sus valores de CNA son nulos y el pH de ambos está muy por debajo de 6. Sus aguas contienen altas concentraciones de sulfatos y otros iones, como el aluminio, que se movilizan cuando el ácido circula por el suelo. En regiones donde el suelo es pobre en minerales meteorizables y la deposición ácida es intensa, ha habido un proceso de acidificación en las superficies acuosas.

El impacto de la lluvia ácida sobre el medio ambiente recae sobre las especies que viven en estos lagos, arroyos, riachuelos y ríos; aves, peces, pequeños crustáceos, insectos, microorganismos, mamíferos carnívoros depredadores de especies acuáticas y herbívoros. Por ejemplo, el salmón noruego, el cual paulatinamente ha dejado de remontar los ríos para efectuar su puesta anual debido a la inhibición del desarrollo de los huevos. En Alemania, este problema se ha agravado en los montes Hartz y en Bosque Negro.

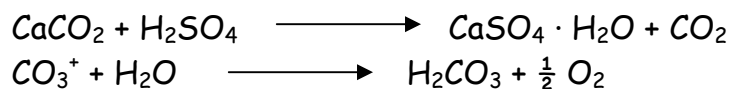
Una de las vías de contaminación es directamente a través del suelo, lo que se traduce en el árbol como una deficiencia de nutrientes. El aluminio liberado por el ácido a partir de los minerales del suelo competiría con el calcio en los puntos de enlace de las raíces más finas, reduciendo el suministro de calcio al árbol y menguando su crecimiento. El propio suelo también puede perder nutrientes. La muerte de los microorganismos del suelo constituye otro motivo posible de agotamiento nutritivo. Además, las altas concentraciones de nitrato que resultan de la deposición de ácido nítrico pueden dañar la flora simbiótica.

También se producen daños por encima del suelo, a la altura de las copas de los árboles, donde las nubes podrían extraer nutrientes. El ozono, actuando como contaminante agravaría la extracción de nutrientes al disolver la envoltura cerosa que protege la superficie de las hojas. Si a ello le sumamos la acción de los insectos, plagas, enfermedades, hongos y plantas parásitas, escasez de luz y daños esporádicos debidos a inundaciones, vendavales y granizos, los efectos se van potenciando por el estado de pérdida de vitalidad o de "bajas defensas" naturales. Es el caso de los bosques de las tierras altas de las montañas Green en Vermont, o los bosques del monte Whiterface en las Adirondack.

Otro ejemplo del desastre es cambio estaciones. Es en otoño cuando las coníferas suelen prepararse para las gélidas temperaturas de invierno extrayendo agua de las acículas, proceso que se conoce como "endurecimiento por frío". La señal inicial proviene de las raíces en forma de

un menor abastecimiento de los nutrientes nitrogenados producidos por los microorganismos edáficos. A medida que el ácido cala en las acículas, los compuestos de nitrógeno que contiene podrían fertilizar al árbol, anulando la señal procedente de las raíces. Así pues, se retrasaría el endurecimiento y el árbol quedaría a merced de los daños causados por la formación de hielo en los tejidos aciculares. Así pues, la fauna autóctona se ve obligada a emigrar.

El ácido sulfúrico puede corroer construcciones y monumentos antiguos en particular los construidos con piedra calcárea o con mármol. Se produce una exfoliación en las capas de la piedra, la hace soluble y acaba por descamarse: "mal ó cáncer de la piedra" (sulfatación):



Esto es lo que ocurre en la catedral de Burgos y en la de Santiago de Compostela.

Las precipitaciones son causa de conflictos internacionales en los que se ponen sobre la mesa los intereses medioambientales de los países enfrentados. La contaminación puede trasladarse desde el foco emisor a regiones alejadas por el arrastre de las corrientes de aire: "contaminación transfronteriza". Se produce en Canadá por la de Estados Unidos y en Escandinavia por la del Reino Unido. En 1979, en Ginebra se comprometieron a la instalación de estaciones que midieran por un lado, parámetros meteorológicos típicos y por otro lado contaminantes. El agua recogida se examina en el laboratorio, donde se determina su pH y las concentraciones de aniones y cationes. Estas estaciones, denominadas EMEP, deben cumplir unos requisitos mínimos.

- Instaladas en medio rural
- Distancia mínima entre su emplazamiento y el foco emisor de al menos 40 km.
- No deben estar sometidos a vientos muy fuertes.

En España existen 8 estaciones EMEP: Noya (La Coruña), Figueres (Gerona), Roquetas (Tarragona), Logroño, Ciba (Valladolid), San Pablo de los Montes (Toledo), La Cartuja (Granada) y Menorca. En ellas se ha registrado como la acidez del agua de lluvias ha aumentado paulatinamente, situándose bajo el umbral de 5,6 oscilando en un intervalo entre un pH 3,6 mínimo y 8,6 máximo. La media de pH es de 6,3, algo menos ácido que en otros países,

pero no por ello exento de riesgo. Las zonas más afectadas por la lluvia ácida son Galicia y la parte de Asturias, País Vasco, la zona industrializada de Barcelona, Tarragona y Zaragoza, el Levante y Murcia. Andalucía (excepto Almería), Madrid y Ciudad Real.

Las soluciones serían la reducción de las emisiones de óxidos de nitrógeno y azufre de la atmósfera.

El smog es una desagradable combinación de humo, niebla y óxidos de azufre.

En el caso del dióxido de azufre, la forma más directa sería eliminar el azufre de los combustibles fósiles, carbón y petróleo, pero además de difícil es caro. Se podría eliminar el SO_2 de los gases producidos mediante la reacción con óxido cálcico. Se inyecta piedra caliza (CaCO_3) en polvo en el quemador o en el horno de la planta generadora de energía junto con el carbón mineral. La piedra caliza reacciona con el dióxido de azufre produciendo sulfito de calcio y algo de sulfato cálcico. Finalmente se inyecta una suspensión de piedra caliza en una cámara de purificación antes de dejar que los gases escapen por la chimenea.

Otras soluciones más drásticas, limpias y ecológicas sería la completa sustitución de los carburantes derivados del petróleo por otros denominados biocarburos, a base de bioetanol y de "dister". Son fáciles de almacenar, transportar y los residuos sólidos que se generan en su proceso son recuperables como pienso. No son cancerígenos, no tienen efectos secundarios y no disminuyen las prestaciones de los vehículos, sólo tienen un pequeño inconveniente: su mal olor.

El gran problema lo plantean las grandes multinacionales del sector y los países que dependen de esta fuente de ingresos; son también muchos los intereses políticos, burocráticos y monetarios que se generan con la industria del petróleo.

EL EFECTO INVERNADERO

Fenómeno por el cual parte de la radiación solar, se refleja en la superficie terrestre, y no se pierde hacia las capas altas de la atmósfera, sino que es absorbida en las capas de ésta por algunos casos, como el vapor de agua y dióxido de carbono.

Gracias al efecto invernadero, la temperatura del aire junto al suelo alcanza una media de 15° C. Pero las emisiones de CO₂ y otros combustibles fósiles como el petróleo y el gas natural, están originando un aumento neto de la concentración de CO₂, hecho que provoca un aumento de la temperatura en la superficie terrestre.

El CO₂ altera el balance de calor de la Tierra al actuar como pantalla en un solo sentido. Es transparente para la radiación a las longitudes de onda visibles. Por otra parte, las moléculas del dióxido de carbono en la atmósfera absorben y reemiten parte de la radiación infrarroja, de mayor longitud de onda que a la vez irradia la superficie de la Tierra: es el llamado efecto invernadero.

La principal causa del efecto invernadero se basa en las actividades humanas debido a la combustión de los combustibles fósiles.

La tala de los bosques, la extensión de la agricultura sobre suelos con grandes cantidades de materia orgánica y la destrucción de las tierras húmedas aceleran la desaparición del humus, que se transforman en CO₂, agua y calor. El CO₂ así emitido entra a formar parte de la atmósfera.

Los bosques de los trópicos lluviosos representan la mayor reserva individual de carbono de los biota y aportan asimismo la mayor producción primaria neta total.

En la atmósfera están entrando cantidades mayores de carbono de las que se almacenan en ellas.

El metano sigue también el comportamiento de la temperatura y el CO₂. Se ha multiplicado por más de dos en los últimos trescientos años y aumenta con rapidez.

Como consecuencias del efecto invernadero está la fundición de parte del hielo y de la nieve, reduciendo el albedo terrestre con lo que habría más radiación solar.

Una posible consecuencia del calentamiento climático es la desintegración de la barrera de hielo de la Antártica Occidental. El volumen de hielo por encima del nivel del mar es aproximadamente de 2 millones de km³. Si se

fundiera, el nivel de mar ascendería 4 o 6 metros, inundando ciudades costeras y mucha tierra cultivada.

Un incremento de las temperaturas medias mundiales aumentará probablemente la extensión de las zonas áridas y afectaría de forma significativa a la producción agrícola.

El cambio climático también afectaría a la distribución de las lluvias y otras precipitaciones, en una zonas aumentarían para disminuir en otras y aparecerán sequías e inundaciones.

Se prevé, además, el enfriamiento de la alta atmósfera mientras que se calentará la baja atmósfera, habrá menos precipitación y menos humedad en el suelo en latitudes más bajas.

Acabará con la muerte de extensas zonas de bosques y planteará graves dudas sobre la provisión de agua y la inundación de regiones costeras.

La única forma posible de reducir el efecto invernadero es reducir el consumo de combustibles fósiles, retardar el ritmo en la reducción de los bosques. La repoblación forestal, un mejor uso de la energía y una utilización programada del agua.

HUMEDAD ATMOSFÉRICA Y HUMEDAD RELATIVA

Tanto el calor como el agua son vitalmente importantes en la biosfera. La vida animal y vegetal que se encuentra sobre la Tierra requiere la presencia de agua dulce. La única fuente de suministro básica procede de la atmósfera a través de la condensación del vapor de agua.

El agua mediante la evaporación abandona las superficies marítimas y continentales volviendo de esta forma a la atmósfera.

El concepto de humedad se refiere a la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Para una temperatura específica, la cantidad de humedad que puede contener una porción de aire tiene un límite definido denominado punto de saturación. Para una determinada temperatura, la proporción de vapor de agua relacionada con la máxima cantidad que pueda contener una porción de aire, es lo que llamamos humedad relativa, y se expresa en tanto por ciento. Para el aire saturado, la humedad relativa es del 100%.

La humedad puede incrementarse por evaporación. Es un proceso lento, ya que el agua debe difundir hacia las capas altas de la atmósfera. También puede variar debido a un cambio de temperatura. Este cambio es automático, pues la capacidad del aire para contener el agua en estado gaseoso disminuye con el enfriamiento.

PRESIÓN DE VAPOR

La presión de vapor es la parte del total de la presión atmosférica que es debida al vapor de agua.

La Presión de vapor de saturación depende de la temperatura. Es la máxima cantidad de vapor de agua que se puede mantener para una determinada temperatura. Si es mayor, el vapor de agua forma nubes (el agua se condensa y pasa de gas a líquido). Es decir, la curva de representación se satura al bajar la temperatura y más parte del vapor de agua se condensa.

PUNTO DE ROCÍO

Es la temperatura crítica, el punto en el cual el aire se satura por enfriamiento. Por debajo del punto de rocío la condensación suele aparecer produciendo diminutas gotitas de agua. La condensación puede ocurrir alrededor de las partículas sólidas o depositándose gota a gota en la su superficie.

HUMEDAD ESPECÍFICA

La humedad existente en un momento determinado se indica mediante la humedad específica, definida como la masa de vapor de agua expresada en gramos que se contiene en un kilogramo de aire. Para cada temperatura específica del aire, existe una cantidad máxima de vapor de agua.

La humedad específica se utiliza para definir las características higrométricas de una masa de aire. La variación anual a nivel mundial es tal que los valores máximos de humedad específica que se puedan obtener pueden llegar a ser 100 o 200 veces mayores que el valor más pequeño que podamos encontrar.

La oscilación de la humedad relativa con la latitud presenta dos mínimos, uno sobre cada cinturón de altas presiones subtropicales, donde se hallan los desiertos tropicales del mundo. Al mismo tiempo, la humedad es elevada en el Ecuador y en las zonas árticas. De forma inversa, la curva de humedad específica presenta un único máximo en el Ecuador y declina por las altas latitudes.

La humedad específica es un patrón geográfico para medir una fuente natural básica (el agua) que se puede aplica desde las regiones ecuatoriales a las polares. Así, mientras el aire frío tan sólo puede aportar una pequeña cantidad de lluvia o nieve, el aire cálido puede suministrarlo en grandes cantidades.

HIGRÓMETRO E HIGRÓGRAFO

La humedad del aire se puede medir de dos maneras: el higrómetro y el psicrómetro. El primero indica la humedad relativa sobre una esfera calibrada. El más sencillo utiliza cabellos humanos trenzados que se estiran o acortan según la humedad relativa del medio, moviendo de esta manera una aguja. El registro se realiza mediante el higrógrafo, similar al del higrómetro. El higrógrafo realiza sobre una hoja de papel dispuesta en un cilindro rotatorio, una gráfica continua de la humedad ambiental.

El psicrómetro consiste en un par de termómetros dispuestos de forma paralela. Uno es del tipo ordinario, el otro posee un paño humedecido continuamente que envuelve del depósito. Cuando el aire está completamente saturado, no hay evaporación en el paño, y ambos termómetros marcan la misma temperatura. Cuando el aire no está saturado, hay evaporación, por lo que se enfriará el termómetro con la envoltura y registrará, por tanto, una temperatura inferior a la ordinaria.

Para asegurar que se lleva a cabo la máxima evaporación, ambos utensilios están unidos mediante una articulación giratoria a una manecilla con la cual se puede hacerlos girar.