

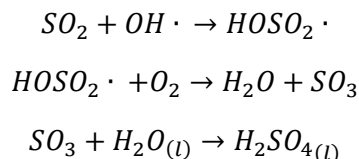
## Lluvia Acida. Impacto sobre materiales.

Andrés Soto Bubert. (Agosto de 2016)

La lluvia común suele tener un pH en torno a 5,65 producido principalmente por la presencia del dióxido de carbono en forma de ácido carbónico. Cuando estos valores se alteran por la presencia en la atmósfera de otros ácidos como los óxidos de nitrógeno u óxidos de azufre, el pH desciende a valores comunes en el rango de 3 a 5 (podría ser inferior) cuya precipitación en forma de lluvia, niebla, nieve, en general en solución acuosa, genera ácidos sulfurosos, sulfúricos y/o nítricos que se conocen como lluvia ácida. También puede considerarse lluvia ácida la precipitación de partículas por deposición seca cuya contribución puede estimarse en el rango de 20 a 60% dependiendo de la zona geográfica. Esto depende del origen de estos contaminantes. Hay una primera clasificación que separa su origen en antropogénico o natural. En países como Chile, con alta presencia volcánica, la actividad de estos produce emanaciones importantes de gases sulfurados como H<sub>2</sub>S y SO<sub>2</sub>. La actividad humana contribuye dado que los combustibles fósiles presentan componentes sulfurados y algunas industrias como la metalúrgica contribuyen significativamente con contaminantes ácidos a la atmósfera. Debe pensarse que el 40% de la electricidad mundial se produce a partir de carbón, el cual tiene contenidos de azufre no despreciable. En la historia de Chile se conocen episodios de Contaminación por acción de empresas (fuentes fijas), que aportaban cantidades significativas de estos ácidos. Ejemplos de esto son los episodios de el Valle de Puchuncavi, en particular en Ventanas por emanaciones de ENAMI y ENAP, en el valle del Aconcagua por la actividad de la Fundición Chagres, En el valle del río Loa por la actividad de Chuquicamata y en las grandes ciudades del país ya sea por centrales a carbón o por la presencia de fuentes móviles como automóviles o por erupciones volcánicas como hace unos años aconteció en Aysén y sus alrededores.

Recordar que, a nivel industrial, no es instantáneo transformar por medio de lavado de gases dióxido de azufre en ácido sulfúrico. Dicho lavado generaría en forma directa ácido sulfuroso. Por esta razón se usan catalizadores como el Pentóxido de Vanadio (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), el cual al calentarse pierde oxígeno lo que se aprovecha en oxidar por el método de contacto, dióxido de azufre en el trióxido y de este modo obtener por lavado del gas el ácido sulfúrico. De la misma forma en la atmósfera no es directa la formación de ácido sulfúrico esperándose sulfuroso a menos que existan rutas alternativas que permitan formación abundante de ácido sulfúrico.

En la atmósfera la formación de ácido sulfúrico se presume que requiere la presencia de radicales hidroxilo siguiendo el siguiente mecanismo de reacción:



Los óxidos de nitrógeno tienen su origen antropogénico principalmente por el uso de motores de combustión generando gases conocido como NO<sub>x</sub>, entre ellos NO y NO<sub>2</sub>. Este último gas por lavado del gas, genera ácido nítrico. La presencia de catalizadores en los automóviles

permiten una reducción de esta emanación siempre y cuando los motores estén en estado estacionario, o sea el motor en caliente, lo cual sucede sobre 750°C. Un auto recién encendido (frío) no tiene el catalizador operativo, por lo que opera como un auto no catalítico y por ende contaminante. La presencia de estos gases promueve la aparición de otros contaminantes como el Ozono y gases como el  $N_2O$  que es un gas que origina calentamiento global.

La contaminación de la lluvia ácida tiene impacto en la salud humana, por cuanto irrita vías respiratorias, deteriora suelos ya que libera metales pesados como cobre, cadmio, plomo y aluminio, lixiviando y movilizandolos impactando la salud de humanos por su posible ingesta directa o indirecta, la salud de animales y flora.

Se estima que el costo en externalidades de las centrales a carbón es de 77 US\$/MWh producido de electricidad y en la Unión Europea esta contaminación representa costos equivalentes al 1-2% de su PIB. En México se calcula que el costo en externalidades si se considera solo daño a la salud en humanos alcanza a 50 USD/MWh de electricidad producido.

Se conoce que plantas recién nacidas sufren daños a pH de 4,6 o inferior. No deja de ser muy significativo su impacto en materiales. A continuación, se describen algunos de sus secuelas.

El ataque ácido afecta una gran cantidad de bienes como los aceros, hierros, bronce, pinturas, plásticos, cementos, mampostería, granito, piedra caliza, piedra arenisca, mármol entre otros, lo genera elevados costos ya sea por reparar o recubrir estos materiales. Las estructuras de monumentos y esculturas en el transcurso del tiempo van sufriendo daños tales como la pérdida de rasgos finos de las estatuas y el borrado de la inscripción de las leyendas de lápidas. En aire citadino se corroen con mayor rapidez por acción de la contaminación. La piedra caliza, mármol y piedra arenisca sufren una acción química al transformar el carbonato de calcio que es su constituyente en yeso u otra forma de sulfato de calcio. Se atribuye a esta clase de contaminación el deterioro de monumentos tales como la Acrópolis de Atenas, Las piedras de la Catedral de Saint Paul en Londres, el oro del tejado de la catedral de Cracovia en Polonia o el Taj Mahal en India y diversas figuras de esculturas europeas, como es la estatua de Marco Aurelio de Miguel Ángel.

Tanto las telas como los colores de las pinturas se deterioran, si pensamos en obras de arte. Respecto a la pintura de edificaciones el impacto es similar, generando corrosión en la pintura y el muro. La madera, papel, el cuero, hilos, lana y en general, cualquier fibra orgánica, sufre deterioro si se somete en forma continua al ataque de ácidos y a través de los años va perdiendo sus propiedades y resquebrajándose.

En las ciudades de la costa existe una contribución adicional que es la presencia de aerosol marino, en forma de cloruro, lugares en los cuales es difícil separar si es la lluvia ácida o este aerosol el que deteriora en mayor o menor forma los materiales. Otras variables como la temperatura, humedad del aire, la cantidad de lluvia caída, la velocidad y dirección de vientos y la radiación solar también generan corrosión de forma directa o indirecta sobre materiales, por lo que la lluvia ácida es un factor dentro de varios factores que pueden contribuir al deterioro de materiales y estructuras. Estimar por esto último sus externalidades en materiales no resulta fácil, pero sin duda es un factor de daño que se traduce en varios millones de dólares de costos de mantención o daño de patrimonio histórico.