

## ¿Cómo se forma la lluvia ácida?

# Una experiencia sencilla para un fenómeno complejo

Benjamín Ruiz Loyola,<sup>3</sup> Gabriela García González,<sup>1</sup> Palmira Ramírez Montes de Oca,<sup>1</sup> Rumi Tsumura García<sup>1</sup> y Diana Segura<sup>2</sup>

## NOTA IMPORTANTE

*En este trabajo se propone una demostración de cátedra, adecuada para los niveles de enseñanza media y media superior, que por sus características debe llevarse a cabo en un laboratorio y dentro de una campana de extracción de gases, para reducir al mínimo los riesgos. Debe considerarse que el dióxido de azufre es un gas sumamente tóxico, reactivo, corrosivo y contaminante de la atmósfera. El ácido sulfuroso que se produce es también muy reactivo y corrosivo, razón por la cual todo el material utilizado debe enjuagarse, antes de lavarse, con disolución al 5% de bicarbonato de sodio y manipularse utilizando guantes. La demostración puede correr a cargo del profesor o de un grupo de estudiantes, pero de ninguna manera deber realizarse fuera de la campana de extracción de gases. No se recomienda realizar la actividad si no se cuenta con la mencionada campana.*

## Abstract

Acid rain is a problem that might be simulated inside a lab, following all safety rules. Thus, by boiling water and burning sulphur in a controlled environment provides us with acid rain, which must be measured for pH with different kinds of acid-base indicators. This is a very interesting experience for junior high and high school levels.

(1) Estudiante del tercer año de secundaria, Instituto Educativo Olinca, Periférico Sur 5170, Coyoacán, 04710, D.F., México.

(2) Profesora de Química, Departamento de Secundaria, Instituto Educativo Olinca, Periférico Sur 5170, Coyoacán, 04710, D.F., México.

(3) Facultad de Química, UNAM, Cd. Universitaria, Coyoacán, 04510, D.F., México.

Recibido: 10 de abril de 1996; Aceptado: 6 de mayo de 1997.

## Resumen

La lluvia ácida es un fenómeno atmosférico que puede simularse en un laboratorio mediante reacciones relativamente sencillas, siempre y cuando se realicen siguiendo todas las medidas de seguridad pertinentes. Así, se evapora agua en un ambiente cerrado, se quema azufre para producir dióxido de azufre y ya tenemos lluvia ácida que se identifica mediante el empleo de indicadores. Es un experimento muy ilustrativo para estudiantes de nivel medio y medio superior.

## Introducción

La lluvia ácida es un problema de origen primordialmente antropogénico, es decir, generado principalmente por las actividades del ser humano; altera la calidad del aire, del agua y del suelo donde se deposita, modificando en ocasiones muy sensiblemente los ecosistemas en que se localiza. Este proyecto nos permite poner en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo del año escolar, y nuestro objetivo es reproducir, mediante un experimento sencillo, el fenómeno químico que origina una parte de la lluvia ácida y demuestra su existencia.

## Antecedentes

En sitios no contaminados, la lluvia es ligeramente ácida, con un pH entre 5.6 y 6.5, debido principalmente a la formación natural de ácido carbónico, que es un ácido débil, por la combinación de una parte del dióxido de carbono atmosférico con el agua (Schwartz, 1994). Por otra parte, en lugares contaminados se han llegado a detectar niveles de pH inferiores a 3; ejemplo de ello es la detección, en la Ciudad Universitaria de la ciudad de México, de una muestra de lluvia con pH de 2.95 (Bravo, 1991).

Existen varios tipos de contaminantes en la atmósfera, entre ellos tenemos: monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, partículas sólidas y óxidos de azufre (Georgii, 1982). Estos últimos son los que ocupan nuestra atención en este trabajo, debido a que son más fáciles de reproducir en el laboratorio y recientemente han sido objeto de estudios amplios y regulaciones importantes (Reisch, 1992).

Las gasolinas de baja calidad, el diesel, el combustóleo y, en general, los combustibles fósiles, contienen compuestos

azufrados que no son eliminados completamente en los procesos de refinación; su combustión en motores de combustión interna, calderas, etcétera, genera dióxido de azufre que, al entrar en la atmósfera, reacciona y produce, al final, ácidos fuertes. No es de extrañar que los mayores episodios de lluvia ácida se presenten en áreas industrializadas o en las cercanías de algunas plantas termoeléctricas (Cocks, 1988; Reisch, 1992).

Las reacciones que ocurren son las siguientes (Schwartz, 1994). En un primer paso, los compuestos azufrados producen dióxido de azufre:



Posteriormente, éste puede reaccionar de manera directa con el agua de la atmósfera, para formar ácido sulfuroso:



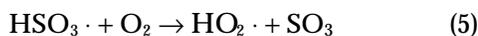
El ácido sulfuroso se disocia en el agua atmosférica, produciendo iones hidrógeno y bisulfito, lo que provoca una disminución del pH normal del agua, haciéndola más ácida:



(Éstas son las reacciones que se muestran en el experimento).

El dióxido de azufre también puede sufrir varios procesos de oxidación en la atmósfera (que no se muestran en el experimento); los más usuales son (Cocks, 1988; Calvert, 1985):

a) Con radical libre hidroxilo (que se genera como parte del “esmog” fotoquímico) y oxígeno, generalmente en ausencia de nubes y polvo, por lo cual no hay superficie de contacto [ver inciso (b)] ni presencia de agua:



(El símbolo  $\cdot$  implica un electrón no apareado, lo cual genera para estas especies la denominación de “radicales libres”.)

b) Con ozono, en presencia de nubes o de polvo (partículas sólidas suspendidas que permiten el contacto entre las moléculas gaseosas que reaccionan, por lo cual se les denomina “superficie de contacto”; sin dichas partículas, no sería posible la reacción, porque no habría un contacto íntimo entre las moléculas)



El trióxido de azufre así formado, se combina con el agua atmosférica para formar ácido sulfúrico:



Al igual que con el ácido sulfuroso, el ácido sulfúrico se

combina con el agua y se disocia formando iones hidrógeno y bisulfato:



Como se puede ver, las reacciones 3 y 8 liberan iones hidrógeno, con lo cual aumenta la acidez y disminuye el pH.

De los varios efectos nocivos atribuidos a la lluvia ácida, podemos mencionar los siguientes (Schwartz, 1994; Smith, 1991; Mohnen, 1988):

- Se afectan los procedimientos de fijación de nitrógeno por parte de suelos y vegetales;
- Se alteran los ecosistemas al variar el equilibrio químico de los mismos;
- Se atacan metales, papel, telas y piedras, entre otros, alterando colores, durabilidad y composición, como en obras de arte y construcciones (por ejemplo, disolviendo el mármol de esculturas artísticas o de elementos arquitectónicos);
- Se irritan las mucosas conjuntivas y respiratorias, haciendo más frecuentes e intensos los episodios de asma; la frecuente irritación del tracto respiratorio puede producir cáncer pulmonar a la larga.
- En particular, el ácido sulfúrico puede provocar serias deficiencias en la concentración de calcio en los suelos, afectando seriamente a los árboles por deficiencias de nutrientes.

## Parte experimental

### Material

#### Equipo

- 1 pecera, de preferencia de acrílico
- 1 vaso de precipitados de 100 mL
- 1 parrilla de calentamiento eléctrica
- 2 cajas Petri de 50 mL
- 2 tripiés metálicos
- 2 telas de asbesto
- 1 cápsula de porcelana
- 1 franela
- guantes de hule

#### Reactivos

- anaranjado de metilo (indicador, 10 gotas)
- azul de bromotimol (indicador, 10 gotas)
- azufre en polvo (0.3 g)
- agua destilada ( $\pm 200$  mL)
- hielo (100 g)
- papel medidor de pH
- bicarbonato de sodio (10 g)

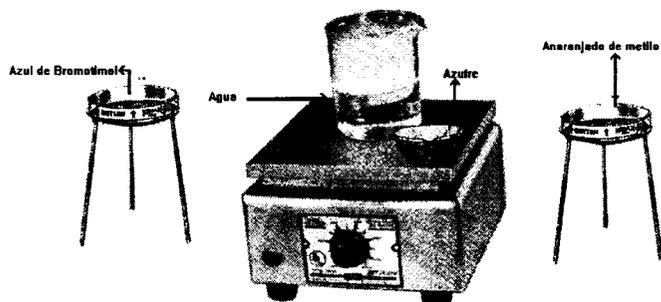


Figura 1. Todo lo que se muestra debe quedar cubierto con la pecera, según se menciona en el texto.

### Desarrollo experimental

En una campana extractora de gases, se coloca la parrilla de calentamiento y sobre ella el vaso de precipitados con unos 75 mL de agua destilada a la cual se le midió el pH. Se llenan a la mitad las cajas Petri y se les añade un indicador a cada una, observándose el color de la disolución; se colocan a los lados de la parrilla, apoyadas sobre los tripiés y las telas de asbesto (figura 1). Una vez que el agua comienza a hervir, se coloca la cápsula de porcelana con el azufre dentro, sobre la parrilla y se cubre todo el material con la pecera invertida. Inmediatamente, cubrir la parte superior de la pecera con la franela y colocar sobre ella el hielo, para condensar el vapor de agua. El azufre comienza a reaccionar con el oxígeno para producir dióxido de azufre (reacción 1), el cual se combina con el vapor de agua (reacción 2) y, al condensarse en el techo de la pecera, comienza a gotear dentro de ella (reacción 3). Al comenzar el goteo, que simula la lluvia, desconectar la parrilla. Esperar unos dos o tres minutos y retirar la franela con el resto de hielo; utilizando guantes, levantar con mucho cuidado la pecera, teniendo la precaución de no respirar los vapores, y dejar circular aire por unos dos minutos. Pasado ese tiempo, observar la coloración en las cajas Petri, para ver si hubo cambios.

### Resultados

Se observa que la caja Petri que contiene el azul de bromotimol ha cambiado a color amarillo, en tanto que la que contiene el anaranjado de metilo ha cambiado a un color rojo-canela. El cambio de pH se presenta a un valor de 6, en el primer caso, y de 3.1 en el segundo, valores que demuestran, sin lugar a dudas, que se puede llegar a tener lluvia con esas características de acidez.

### Conclusiones

Se logra demostrar, de manera sencilla y clara, que la lluvia ácida existe y que puede alcanzar valores muy bajos de pH. Desde luego, debe considerarse que en las zonas urbanas se

genera mayor cantidad de contaminantes que la originan, en comparación con las zonas rurales; además, condiciones meteorológicas (como la ausencia de vientos) y geográficas (presencia o ausencia de montañas) influyen en la probabilidad de que la presencia del fenómeno sea más intensa o frecuente.

### Alternativas

Para poder resolver este problema, es necesaria la participación de todos los sectores sociales. Si la principal fuente de origen se sitúa en el uso de combustibles fósiles, la reducción de esa actividad podrá incidir en una reducción del fenómeno, a lo cual podemos contribuir con acciones tan simples como apagar los focos al salir de una habitación para no desperdiciar energía eléctrica, con la finalidad de que las centrales de producción de esa energía tengan que cubrir una menor demanda. Combustibles más limpios producirán menos precursores de lluvia ácida. Un adecuado uso de plantas hidroeléctricas, el aumento de centrales nucleoelectricas (que plantea problemas de contaminación de otra clase), un mejor aprovechamiento de las energías solar y eólica, en fin, buscar fuentes alternas de energía ayudará a mejorar la calidad del ambiente. Por otra parte, si en las industrias generadoras de precursores de lluvia ácida se limpiasen los gases producidos por la quema de combustibles fósiles, antes de ser arrojados a la atmósfera (por ejemplo, lavando con disoluciones de carbonato de calcio para que reaccionen los óxidos de azufre y nitrógeno), el problema también se reduciría. El uso racional del automóvil, la afinación periódica del motor, en fin hay muchas acciones que podemos tomar cada uno en lo individual y en lo colectivo, para enfrentar el problema. Lo único que hace falta es decidimos a hacerlo.

### Bibliografía

- Bravo, H., Sosa, R. y Torres, R., *Ciencias*, 22, 33-40, 1991.  
 Calvert, J.G., Lazrus, A., Kok, G.L., Heikes, B.G., Walega, J.G., Lind, J. y Cantrell, A., *Nature*, 317, 27-35, 1985.  
 Cocks, A. and Kallend, T., *Chemistry in Britain*, 884-888, 1988.  
 Georgii, H.W. and Jaeschke, W., *Chemistry of the Unpolluted and Polluted Troposphere*, D. Reidel Publishing Co., 1982, p. 425-457.  
 Mohnen, V.A., *Scientific American*, 259, 30-38 (1988).  
 Reisch, M.S., *Chemical & Engineering News*, Jul. 6, 1992, p. 21-22.  
 Smith, W.H., *Chemical & Engineering News*, Nov. 11, 1991, p. 30-43.  
 Schwarz, T.A., Bunce, D.M., Silberman, R.G., Stanitski, C.L., Stratton, W.J. y Zipp, A.P., *Chemistry in Context*, Wm. C. Brown Publishers, 1994, p. 151-178. ■