



A *Ciencia cierta...*

LLUVIA ACIDA



FACULTAD DE QUÍMICA • UNAM



Y tú, ¿qué es lo que piensas?

Un buen inicio para adentrarse en el estudio de este fenómeno es conocer qué lo provoca, así como identificar sus efectos.

No siempre lo que cae del cielo son refrescantes gotas de agua. La lluvia puede acarrear diversas sustancias que nos pueden afectar. El problema de la lluvia ácida es un fenómeno complejo, ya que no sólo involucra aspectos ambientales, sino también aspectos científicos, tecnológicos, sociales, económicos y hasta políticos; sin embargo, mucha gente tiene una visión simplista y equivocada sobre el origen de este fenómeno, sus efectos y cómo pueden controlarse.



► ¿Qué sabes sobre el tema?

Marca con una **X** los fenómenos, procesos o actividades que consideres que **contribuyen a la formación** de la lluvia ácida:

- Extracción y fundición de minerales
- Tormentas eléctricas
- Uso de aparatos eléctricos
- Sistemas de refrigeración
- Uso de aerosoles
- Erupciones volcánicas
- Incendios
- Medios de transporte

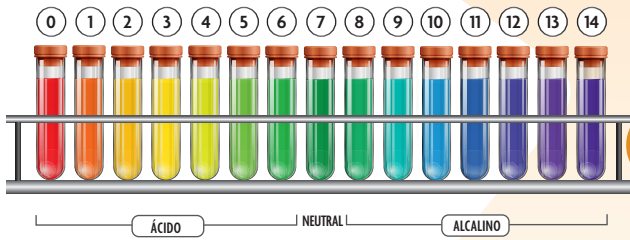


Marca con una **X** los fenómenos que crees que son **provocados por la acción** de la lluvia ácida:

- Disolución de metales
- Daños a construcciones y estructuras
- Adelgazamiento de la capa de ozono
- Calentamiento global
- Daños a la vida acuática
- Destrucción de bosques
- Cambio en el color de las hojas de los árboles
- Aumento en el nivel de los océanos



Escala de pH del indicador universal



Aunque la acidez natural de la lluvia depende de la región y la época en la que se mide, en promedio se estima que tiene un valor de pH cercano a 5.6. Si un valor de pH = 7 es indicativo de una disolución neutra, entonces el agua de lluvia es naturalmente ácida. Esto se debe a que la lluvia, al atravesar la capa de dióxido de carbono (CO_2) que envuelve al planeta, forma ácido carbónico (H_2CO_3), un ácido débil que le confiere este valor de pH.

Entonces, se llama lluvia ácida a las precipitaciones con un valor de pH inferior a 5.6, es decir, que su acidez ha aumentado como consecuencia de haber disuelto sustancias contaminantes de la atmósfera, como óxidos de azufre (SO_2 y SO_3) y óxidos de nitrógeno (NO y NO_2), todos ellos producen, al reaccionar con el agua, los siguientes ácidos: sulfuroso (H_2SO_3), sulfúrico (H_2SO_4), nítrico (HNO_3) y nitroso (HNO_2).

Un poco de información

No sólo la lluvia al caer disuelve estas sustancias, lo mismo sucede con la nieve, el granizo y el vapor de agua, por ello, para incluir todo tipo de precipitaciones que arrastran sustancias de la atmósfera, que son o pueden transformarse en ácidos, actualmente se habla de *precipitaciones ácidas*.

Las precipitaciones ácidas se depositan en la superficie de la Tierra, donde se incorporan al suelo, a las plantas o se disuelven en el agua de mares, ríos y lagos. Las sustancias ácidas disuelven minerales y otros componentes de las rocas y el suelo, generando productos tóxicos que son arrastrados por la lluvia a los ríos y lagos, todo esto limita el sano desarrollo de los bosques y de la vida acuática.



La siguiente imagen muestra algunos de los efectos que provoca este fenómeno atmosférico (recuadros en verde) y sus causas, tanto las naturales como aquellas que son resultado de las actividades humanas (recuadros en naranja). Para ampliar tu comprensión del fenómeno, observa el video <https://www.youtube.com/watch?v=Nf8cuvl62Vc> y completa los recuadros de la imagen.

El valor del pH natural de la lluvia se acidifica aún más al reaccionar con sustancias presentes en la atmósfera como: _____

El valor del pH natural de la lluvia es: _____

Los contaminantes industriales contienen: _____

Los ácidos presentes en la lluvia disuelven los materiales de edificaciones y monumentos.

Las emisiones volcánicas son fuente natural de: _____

Producen daños a la vegetación y los suelos.

Los autos liberan: La gasolina y el diésel contienen: _____

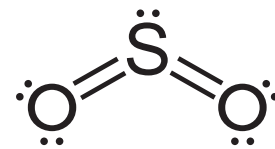
Dificulta el desarrollo de la vida acuática porque: _____

Uno de los contaminantes, el SO₂

La reacción que ocurre durante la combustión de materiales que contienen azufre (carbón y combustibles fósiles) se representa con la siguiente ecuación química:



En la extracción de metales a partir de minerales que contienen azufre, como es el caso del sulfuro de zinc, éste reacciona con el oxígeno del aire al fundirse, formando el óxido de zinc (ZnO) y SO₂. Este proceso se realiza debido a que el óxido metálico se reduce más fácilmente que el sulfuro para obtener el metal puro. Este proceso se representa mediante la siguiente ecuación química:



El dióxido de azufre (SO₂) se produce naturalmente en las erupciones volcánicas, en los procesos biológicos de descomposición de materia orgánica, en los incendios y en las tormentas eléctricas. Las fuentes no naturales más importantes de producción de SO₂ las constituyen las plantas generadoras de energía eléctrica que utilizan carbón en sus procesos, algunas industrias, la gasolina y el diésel que utilizan los automóviles como combustible y las plantas fundidoras donde se extraen metales a partir de minerales.

► Un experimento

Para verificar las características ácidas del SO₂ al reaccionar con agua necesitas:



- ▶ 3 matraces Erlenmeyer de 250 mL
- ▶ 1 tapón de hule para matraz
- ▶ 1 cucharilla de combustión
- ▶ 1 mechero Bunsen
- ▶ Agua de la llave
- ▶ Disolución indicadora ácido-base
- ▶ Vinagre
- ▶ Azufre



1. Añade 100 mL de agua a los matraces y coloca unas cuantas gotas de indicador ácido-base en cada uno de ellos.

Este matraz será tu testigo. Servirá para determinar el color producido al agregar un ácido o una base.



2. Agrega un poco de vinagre al segundo matraz y observa lo que sucede.

Este segundo matraz te servirá como referencia del color que adquiere el indicador ácido-base en medio ácido.

3. Coloca un poco de azufre en la cucharilla y caliéntala hasta que funda y se encienda. Introdúcela en el tercer matraz sin tocar el líquido y agita el recipiente para disolver los gases que escapan del azufre en combustión.

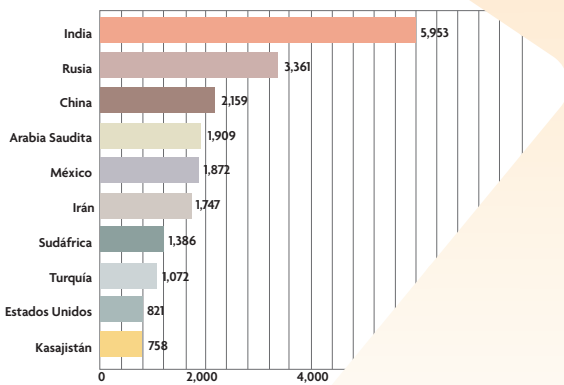
Realiza estos pasos en una campana o en un lugar que tenga un sistema de ventilación.

4. Saca la cucharilla del matraz y tápalo con el tapón de hule. Coloca la cucharilla debajo del chorro del agua para detener la reacción.



CONTAMINACIÓN POR SO₂

(Fuente: Greenpeace, 2019)



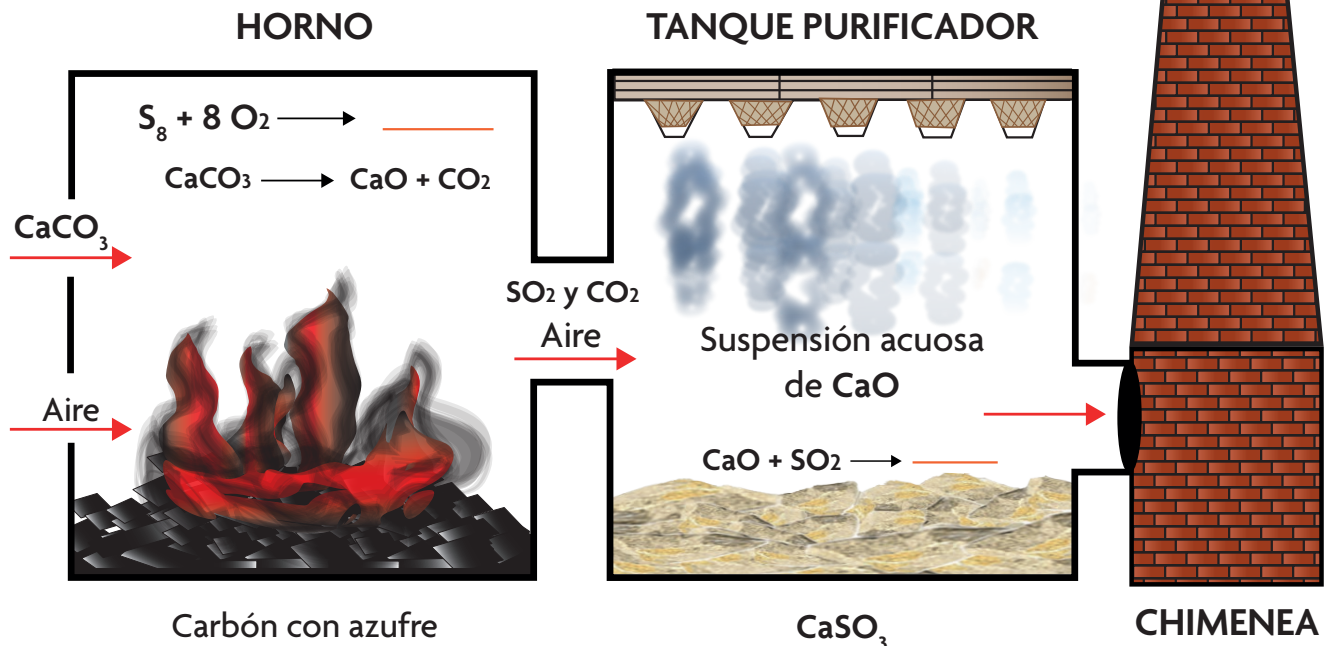
El SO₂ es responsable de casi el 65 % del incremento de la acidez de la lluvia en las grandes ciudades. Es por ello que muchas de las medidas propuestas para remediar el problema están enfocadas en reducir las emisiones de este gas. La manera más directa sería eliminar el azufre de los combustibles fósiles antes de quemarlos, pero esto es caro y tecnológicamente muy difícil. Otro método más barato, pero menos eficiente, es remover el SO₂ cuando se forma.

Para eliminar el SO₂ en los hornos de combustión de carbón, se añade piedra caliza rica en carbonato de calcio (CaCO₃) durante el proceso. Los gases que se forman se hacen pasar por un tanque purificador donde se inyecta una suspensión de óxido de calcio (CaO), una sustancia básica.

¿Cómo reducir las emisiones de este gas?

► Analiza el proceso de purificación y las reacciones químicas que se presentan

Establece cuáles son los reactivos y productos faltantes y anótalos en los espacios en blanco.



¿Cuál es la función de la piedra caliza y el óxido de calcio?

¿Crees que este método presenta algún inconveniente?

En la ciudad



En las grandes ciudades, además de la contribución del SO_2 a las precipitaciones ácidas, hay que considerar los óxidos de nitrógeno que se producen en el interior de los motores de combustión de los camiones y automóviles. Afortunadamente, con el uso de convertidores catalíticos es posible eliminar cerca del 90 % del NO y NO_2 que generan los medios de transporte. El siguiente video te ayudará a comprender cómo se ha logrado disminuir la concentración de algunos de estos contaminantes en la atmósfera. ¿Serán suficientes estas medidas?

<https://www.youtube.com/watch?v=VILCk2CpUCw>



En 1988, se creó el Sistema Nacional del Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas para cuantificar las emisiones en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Conocer la concentración de los diferentes contaminantes (como SO_2 y NO_2) presentes en la atmósfera de la ciudad ha permitido diseñar e implementar programas para reducir sus emisiones, así como evaluar su eficacia. Para valorar el caso de la lluvia ácida, se toman regularmente muestras del agua de lluvia, se determina el valor de pH y se evalúa el porcentaje de las que tienen un valor de pH menor a 5.6, es decir, que son más ácidas de lo normal.

Aquí tienes algunos resultados reportados a lo largo de una década; del porcentaje de días del año que las muestras analizadas presentaron valores de pH inferiores a 5.6 y el número de días que en cada año la concentración de SO_2 y NO_2 excedió el límite máximo permitido:

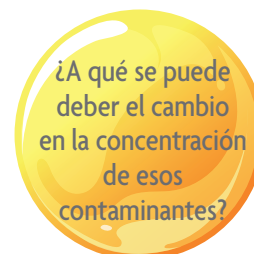
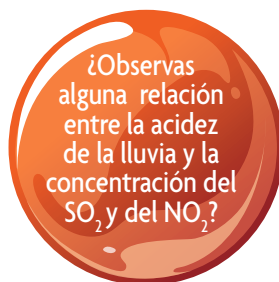
AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
% de muestras con $\text{pH} < 5.6$	51.62	35.45	35.82	24.54	37.27	17.27	-	52	50	18	16
# días con $[\text{SO}_2] > 0.13 \text{ ppm}$	8	3	10	0	0	0	2	0	0	0	7
# días con $[\text{NO}_2] > 0.21 \text{ ppm}$	29	13	8	28	27	34	80	36	29	18	23

➔ Con esta información elaboren en parejas una gráfica que les permita analizar cómo ha cambiado el porcentaje de muestras ácidas con el tiempo.

➔ Representen en otra gráfica los datos del número de días con valores superiores a los permitidos para los contaminantes reportados.

Algunas consideraciones importantes para realizar tu gráfica:

- Fíjate bien qué variable graficarás en cada eje.
- Pon atención a la escala que elijas, de manera que el trazo que obtengas ocupe todo el espacio disponible.
- Recuerda poner título a la gráfica y los ejes, señala las variables y sus unidades.





Las precipitaciones ácidas pueden afectar el suelo, los bosques, la vida acuática, los edificios y hasta los monumentos. Todos estos sistemas poseen propiedades que pueden modificarse si se altera la acidez del medio en el que se encuentran. En particular, el efecto de la lluvia ácida puede observarse en muchas de las obras artísticas de nuestro país que se encuentran a la intemperie.

¡Pobres monumentos!

La gran mayoría de las obras monumentales de las culturas prehispánicas están hechas de piedra caliza, material esencialmente constituido por carbonato de calcio (CaCO₃), el cual reacciona y se disuelve en presencia de ácidos.

Por ejemplo, en presencia de ácido sulfúrico (H₂SO₄), ocurre una reacción que puede representarse mediante la siguiente ecuación química:



La sal que se forma, sulfato de calcio (CaSO₄), es arrastrada por el agua o penetra en la roca, donde precipita cuando la piedra se seca. La presión que ejerce la sal cristalizada puede resquebrajar la piedra. Por todo esto, a la lluvia ácida se le ha llamado la *lepra de las piedras*.

¿Qué futuro les espera a los sitios arqueológicos de nuestro país?

¿A qué crees que se debe la presencia de lluvia ácida en zonas arqueológicas lejos de las ciudades?

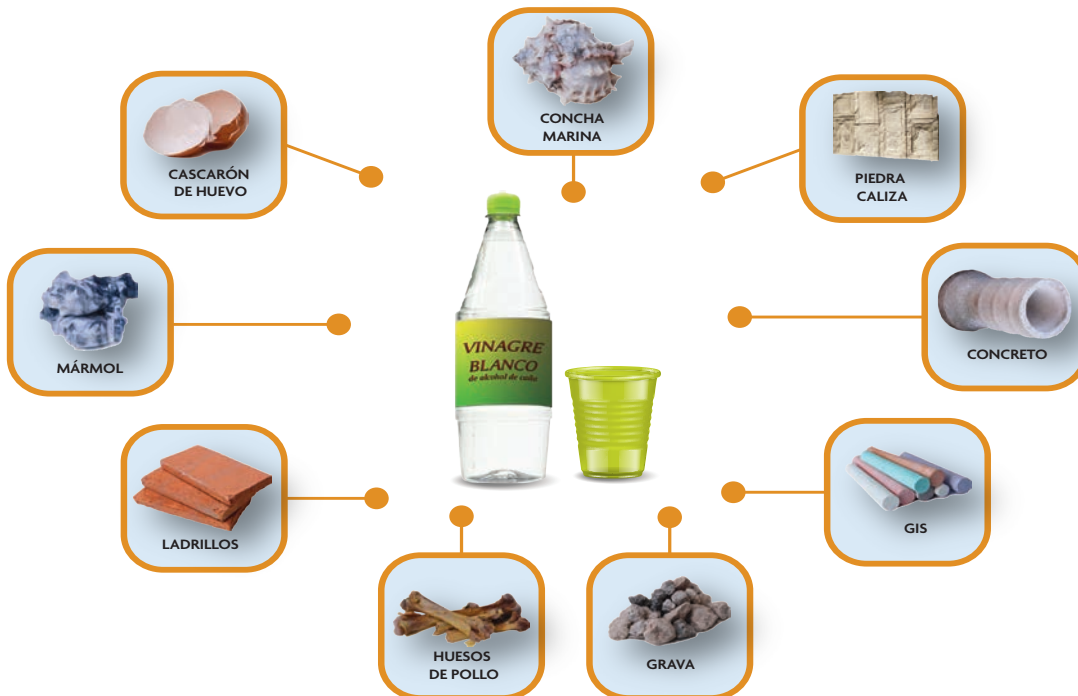


Observa el video ubicado en el siguiente vínculo:
<https://youtu.be/bdWiAPvzEjg>

Una gran cantidad de materiales que se utilizan para construir estructuras reaccionan con sustancias ácidas y se disuelven.

► ¿Qué tal si lo investigas?

Diseña un experimento que te permita comprobar qué materiales se disuelven más rápido en una disolución de ácido acético (vinagre).



¿Qué sucede al sumergir estos materiales en vinagre?

¿Observas algún cambio?

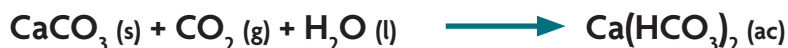
¿Cómo lo explicas?



¿Lagos con composición inteligente?

La piedra caliza está compuesta principalmente por carbonato de calcio (CaCO₃). El carbonato de calcio reacciona con dióxido de carbono y agua para formar carbonato ácido de calcio [Ca (HCO₃)₂] (conocido como bicarbonato de calcio), que es un compuesto soluble en agua.

Dicha reacción se representa mediante la siguiente ecuación química:

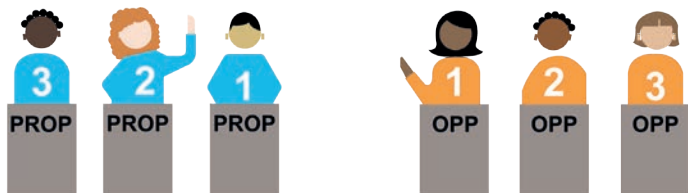


Los iones bicarbonato forman una base que reaccionan con las precipitaciones ácidas que caen al lago. Este fenómeno se representa mediante la siguiente ecuación química:

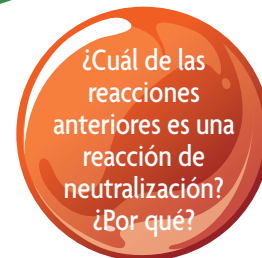


► Debate

Los automóviles de modelos antiguos son responsables de arrojar al ambiente una mayor concentración de los contaminantes que ya conoces que provocan la lluvia ácida. Organízate en dos grandes equipos que incluyan a todos tus compañeros del grupo. Uno de ellos tendrá que presentar un conjunto de ideas y argumentos a favor de retirar de la circulación dichos automóviles, mientras los otros tendrán que defender la posición de conservarlos, ya que gran parte de la población no podrá cambiarlos por modelos recientes. Se trata de un gran dilema social de difícil solución, ¿no crees?



El valor de pH de un lago “sano” es aproximadamente de 6.5. Es de esperarse que cuando las precipitaciones ácidas caen en lagos y arroyos, la acidez del agua aumente y el valor de pH disminuya. Sin embargo, en algunos lagos ocurre que, a pesar de recibir precipitaciones muy ácidas, el valor de pH del agua no decrece dramáticamente y esto se debe a sus condiciones geológicas. En el caso de los lagos cuyo lecho es rico en piedra caliza, el lago es capaz de neutralizar la lluvia ácida mediante reacciones ácido-base.



Y después de todo esto...



AUTOR Y ASESOR GENERAL:
Vicente Talanquer

RESPONSABLE ACADÉMICA:
Glinda Irazoque

ACTUALIZACIÓN Y COORDINACIÓN 2022:
Alejandra López

Coordinación de Comunicación, FQ

DISEÑO EDITORIAL:
Sonia Barragán/Elda Cisneros

CORRECCIÓN DE ESTILO:
Brenda Álvarez

Proyecto apoyado por DGAPA-UNAM, a través del programa PAPIIME PE213618. Publicación autorizada por el Comité Editorial de la Facultad de Química. ISBN de la colección: 978-607-30-5303-7 • ISBN del volumen: 978-607-30-6032-5



libros
UNAM
OPEN ACCESS www.librosoa.unam.mx



978-607-30-6032-5



Para saber más

- Valdés, J. (1998). *La noche que Andrés llegó tarde* (Guía del maestro) Revista *¿Cómo Ves?* (1), pp. 18 y 19.
- *Química en la comunidad* (2012). Editorial Trillas, México.
- Phillips, J., Strozak, V., Wistrom, C. (2017). *Chemistry: Matter and change*, Editorial GLENCOE/Mc Graw Hill, USA.