

LUCHAR CONTRA LAS HELADAS CON HIELO



SHUTTERSTOCK

Por Brian Rohrig

Escarcha! A medida que cambian las estaciones, del invierno a la primavera y del verano al otoño, agricultores de todo el mundo luchan por proteger sus cultivos de los daños causados por las escarchas. En primavera, cogollos vulnerables que mueren en una helada tardía puede significar que no haya cultivos de otoño, y una helada temprana en el otoño puede significar que una cosecha completamente desarrollada muere en la vida.

La escarcha ocurre cuando el vapor de agua en el aire se deposita en una superficie cuando la temperatura exterior desciende por debajo de 0 °C (32 °F). Debido a que no hay ninguna forma líquida de agua presente, esto es un ejemplo de deposición—un cambio de fase directamente de gas a sólido sin pasar por la fase líquida. Los copos de nieve también se hacen de esta manera, pero dónde se forman sobre partículas de polvo, la escarcha crece sobre superficies sólidas como plantas, árboles, ventanas y farolas.

A nivel celular las plantas son predominantemente acuáticas. Cuando las células vegetales se congelan, estallan. Esto es porque el agua se expande cuando se congela. Las plantas pueden soportar una pocas horas a temperaturas inferiores a $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (31 °F), pero unos pocos minutos a $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (28 °F) pueden provocar la muerte de la planta.

Entonces, si bien las escarchas son lo que observamos como una indicación de caída de las temperaturas, en realidad son las bajas temperaturas con las que los agricultores tienen que luchar. Los agricultores utilizan dos métodos comunes para mantener calientes sus huertos: rociar sus cultivos con agua para formar una mezcla de agua y hielo alrededor de los cogollos o la fruta, o utilizando calentadores de gas móviles para hacer lo mismo para la escarcha a medida que se forma.

Puede parecer extraño usar hielo para evitar que las plantas se congelen, pero la meta es mantener la temperatura en el punto de congelación o por encima. Es un asunto de energía y lo que sucede durante los cambios de fase.

A nivel molecular, el flujo de energía es complicado. El calor es liberado cuando el agua se congela o se queman combustibles, pero la liberación de energía puede primero requerir un aporte inicial de energía. Lo que observamos es el resultado neto de todas las “travesuras” asociadas a nivel molecular o atómico.

USANDO HIELO PARA PROTEGER CONTRA LOS DAÑOS POR ESCARCHA

En 1920, un joven investigador del estado de Washington, Daniel James “DJ” Crowley, sugirió que los productores de arándanos de la zona cambien los aspersores en su cosecha de arándanos antes de una helada temprana. Los agricultores se mostraron escépticos, pero hicieron lo que él sugirió. Y funcionó. ¿Qué sabía DJ Crowley que lo impulsó a hacer esta sugerencia?



SHUTTERSTOCK

Por muy inusual que parezca, el agua, o más bien una mezcla de agua y el hielo puede proteger los cultivos de la caída de temperaturas. Cuando el agua y el hielo existen al mismo tiempo, la temperatura permanece en 0 °C (32 °F) hasta que el proceso de congelación está completo, sin importar cuánto baje la temperatura ambiental.

¿Cuál es la conexión entre los cambios de fase y la energía?

Los cambios de fase son impulsados por **fuerzas intermoleculares** de atracción entre moléculas. Como las relaciones interpersonales entre tú y tus amigos, ocurren fuerzas intermoleculares entre una molécula de agua y sus vecinas.

En el agua, estas fuerzas intermoleculares se llaman enlaces de hidrógeno, o enlaces-H para abreviar. Y si bien se les llama enlaces, son mucho más débiles que las **interacciones intramoleculares**, que ocurren entre los átomos de oxígeno e hidrógeno en la molécula de agua.

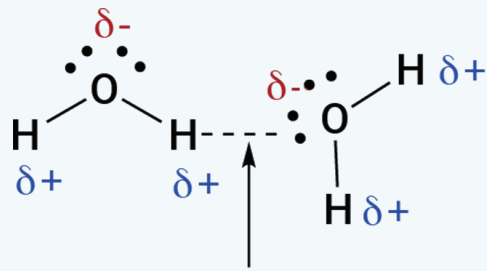
Recuerde, el agua tiene un dipolo, es decir, cuanto más electronegativo es el átomo de oxígeno en la molécula de agua, más atrae los electrones hacia sí mismo.

Esta atracción de electrones hacia el átomo de oxígeno crea una carga parcialmente negativa en el oxígeno. Y, debido a que los electrones se separan de los hidrógenos, quedan parcialmente cargados positivamente.

Un enlace-H es un tipo muy específico de fuerza intermolecular que ocurre entre una molécula que contiene átomos de hidrógeno unidos a átomos altamente electronegativos como el oxígeno. Por convención, los enlaces-H se muestran como líneas de puntos entre el lado parcialmente negativo del oxígeno de la molécula de agua al lado parcialmente positivo del hidrógeno de una molécula de agua diferente.

Durante un cambio de fase de agua sólida (hielo) a agua

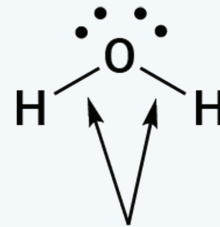
FUERZAS INTERMOLECULARES



Enlaces-H

Interacciones entre átomos

FUERZAS INTRA MOLECULARES



Enlaces covalentes

Interacciones entre átomos

líquida, algunos de los enlaces-H entre las moléculas de agua se rompen. Esto toma energía del medio ambiente. Por el contrario, cuando el agua se solidifica, la energía se desprende a medida que se forman enlaces-H adicionales entre las moléculas de agua.

Cuando se libera energía al medio ambiente, a esto lo llamamos exotérmico. El calor sale del sistema: el prefijo exo- en griego significa exterior. Nosotros percibimos esto como una reacción caliente: piense en una fogata.

Cuando se absorbe energía del medio ambiente, lo llamamos endotérmico. Se absorbe calor: el prefijo endo- en griego significa interior. Percibimos esto como una reacción fría: piensa en un cubito de hielo derritiéndose en tu mano. Para romper las interacciones de enlace de hidrógeno entre las moléculas de agua en la fase sólida, el hielo extrae energía de tu mano, haciendo que tu mano se sienta fría.

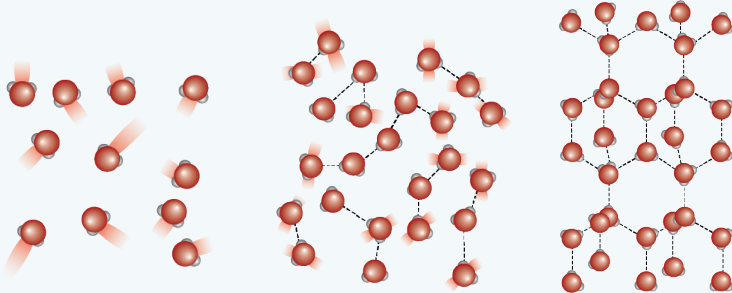
Durante un cambio de fase, la temperatura del sistema permanece igual. La temperatura no cambiará hasta que toda una fase se haya convertido en la otra.

Cuando dos fases están presentes al mismo tiempo, se absorbe energía y es liberada. La energía necesaria para derretir hielo o solidificar agua es de 334 julios por gramo (J/g). Esta cantidad se llama calor de fusión. La misma cantidad de energía es liberada cuando el agua se convierte en hielo, y se absorbe cuando el hielo se convierte en agua. Solo depende de si estamos rompiendo o formando enlaces-H.

Es el calor de fusión del agua y la meseta de temperatura asociada lo que evita que los cogollos o la fruta se congelen. Mientras el hielo que se forma en las plantas se mantenga húmedo, la temperatura del interior de la fruta se mantendrá en 0 °C (32 °F) o más. Además, a medida que el hielo se congela, el calor que es liberado a medida que se forman enlaces-H entre las moléculas de agua, ayuda a mantener caliente la fruta envuelta.

El conocimiento de DJ Crowley sobre los cambios de fase ayudó a salvar los cultivos de arándanos en la década de 1920, y su tecnología todavía se usa hoy.

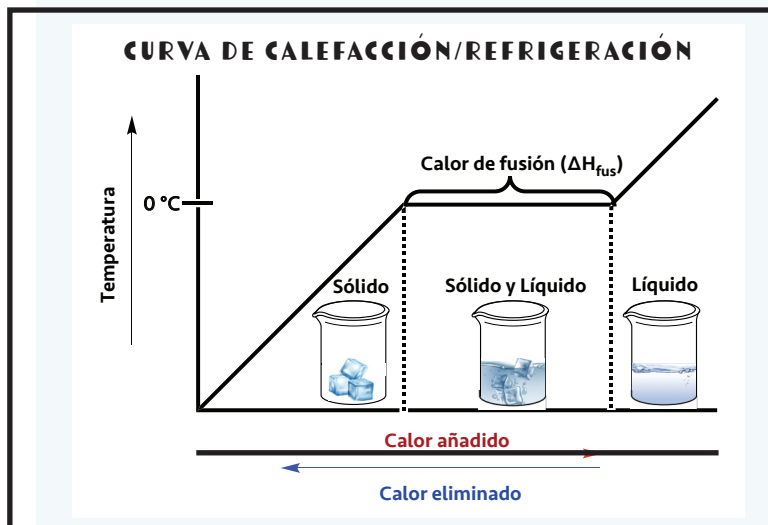
ENLACES-H EN AGUA



Agua Gaseosa (Vapor)
Sin enlaces-H

Agua líquida

Agua Sólida (Hielo)



USANDO LAS REACCIONES DE COMBUSTIÓN PARA PROTEGER CONTRA LAS ESCARCHAS

Puede parecer extraño pensar en calentar un huerto usando un calentador de gas. Pero para eso se pueden colocar calentadores de alta potencia con ventiladores tipo chorro detrás de un tractor.

Otra opción son los calentadores verticales que quizás hayas visto en los patios de los restaurantes para ampliar la temporada de comidas al aire libre. Siguiendo esa misma idea, algunos agricultores utilizan barriles cuidadosamente colocados a lo largo de un viñedo o huerto y encienden pequeños fuegos de leña.

Todas estas opciones de calefacción se basan en el mismo principio: quemar un combustible a base de carbono para calentar el aire y derretir la escarcha lo suficiente para mantenerla húmeda porque las mezclas de agua sólida y líquida permanecen a 0 °C (32 °F).

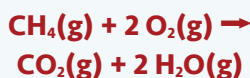
Las reacciones de combustión son comunes. Las usamos para calentar nuestros hogares, cocinar nuestras cenas y alimentar nuestros automóviles.

A diferencia de los cambios de fase, la composición química de nuestro combustible cambia cuando se quema. Esto significa que las fuerzas intramoleculares—enlaces entre átomos—se rompen y se forman otras nuevas.

Entonces, ¿el calor proviene de la ruptura de los enlaces o la formación de los enlaces?

Examinemos una reacción común, la combustión de metano (CH₄), que se produce cada vez que se enciende un quemador Bunsen o una estufa de gas en su casa.

Cuando el metano reacciona con el oxígeno, se convierte en dióxido de carbono y agua.



En general, sabemos que esta reacción es exotérmica, porque ¡los mecheros Bunsen están calientes! Pero todas las reacciones químicas tienen ambos, un aspecto endotérmico y uno exotérmico para romper enlaces y reorganizarlos. Siempre se requiere energía para romper atracciones intermoleculares o enlaces entre átomos.

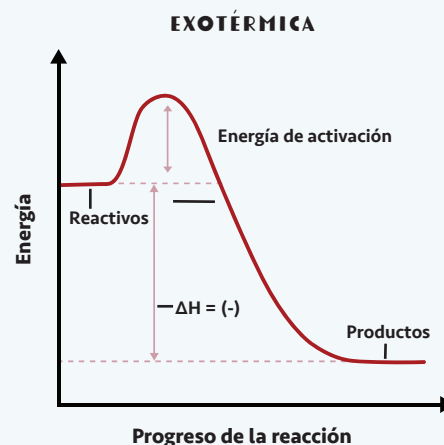
Primero, se debe absorber energía por las moléculas de metano y oxígeno. Una forma de visualizar esto es pensar en dos imanes. Si ellos están pegados, se requerirá energía para separarlos.

Luego para formar los productos—CO₂ y H₂O—se deben formar nuevos enlaces entre el carbono y los oxígenos en el dióxido de carbono (CO₂) y los hidrógenos y el oxígeno del agua (H₂O). Cuando se forman enlaces, se libera energía. Pensando de nuevo en los imanes, si los imanes se acercan lo suficiente como para que se sientan atraídos el uno por el otro, pueden hacer clic con un chasquido audible. El chasquido es energía que se libera en forma de ondas sonoras. En el caso de los átomos, cuando se forma un enlace se libera energía en forma de calor.

La diferencia entre la energía necesaria para romper los enlaces (tirar de los imanes aparte) y el calor liberado para formar nuevos enlaces (energía sonora liberada por los imanes que se atraen entre sí) se llama entalpía de reacción o ΔH (delta-H) cuando la reacción se lleva a cabo a presión constante.

Cuando un mol de moléculas de agua se forma a partir de hidrógeno y oxígeno, el calor liberado es 286 kilojulios (kJ). Y el dióxido de carbono, debido a sus dobles enlaces, libera incluso más energía. Cuando se forma un mol de CO₂ a partir de carbono y oxígeno, se liberan 394 kJ de energía. Un julio de energía equivale aproximadamente a dejar caer una pera desde la altura de un metro. ¡Imagínese cómo sonarían 394,000 peras cayendo desde la altura de la cintura!

Cuando el metano se quema, se libera más energía cuando se forman los produc-



Viticultores—productores de vino—encienden fuegos en contenedores para calentar las vides y evitar que se congelen durante una helada.

tos que cuando se rompen las moléculas de metano (CH₄) y oxígeno (O₂). Esto hace que la reacción general sea exotérmica.

En una reacción exotérmica, los productos al final de la reacción tienen menor energía que los reactivos. Esta diferencia de energía térmica entre los reactivos y los productos se pueden utilizar luego para salvar la cosecha.

Por suerte, no es necesario aplicar calor a todo el huerto de una vez. Recuerde, nuestra meta es tener tanto hielo y agua presente al mismo tiempo para mantener la temperatura alrededor de la fruta a 0 °C (32 °F). Entonces, los agricultores sólo necesitan calentar sus huertos lo suficiente como para derretir parte de la escarcha, manteniendo presentes tanto el hielo como el agua al mismo tiempo.

Brian Rohrig es profesor de química que vive en Columbus, Ohio. Su artículo más reciente en *ChemMatters*, "La química que mantiene a los trenes en movimiento", apareció en la edición de abril de 2023.

REFERENCIAS

Janovich, A. Arándanos. Revista del estado de Washington, invierno de 2021: <https://magazine.wsu.edu/2021/11/08/cranberries/> [consultado en septiembre 2023].

La reacción endotérmica entre el hidróxido de bario y tiocianato de amonio. "Science Skool". <https://www.youtube.com/watch?v=PijjHjjsck&t=45s> [consultado en septiembre de 2023].

Reacciones exotérmicas y endotérmicas. Sociedad Americana de Química Video de la lección de ciencias: <https://highschoolenergy.acs.org/how-can-energy-change/exothermic-endothermic.html> [consultado en septiembre de 2023].

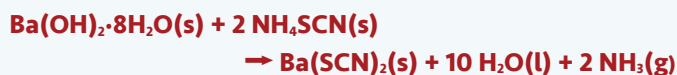
Allain, R. Necesitamos hablar de la energía en los enlaces químicos. "Wired", 7 de diciembre de 2015: <https://www.wired.com/2015/12/we-need-to-talk-about-the-energy-in-chemical-bonds/> [consultado en septiembre de 2023].

Baird, C. S. ¿Cuándo se produce la ruptura de los enlaces químicos? ¿Energía? Preguntas científicas con respuestas sorprendentes, 27 de junio de 2013: <https://www.wtamu.edu/~cbaird/sq/2013/06/27/when-does-the-breaking-of-chemical-bonds-release-energy/> [consultado en septiembre de 2023].

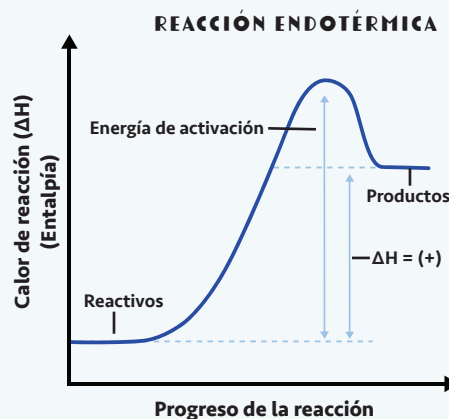
VINCULACIÓN Y ENERGÍA

Si bien la unión se puede utilizar para mantener las cosas calientes, otras reacciones químicas también pueden ser muy interesantes—¡literalmente!

Una reacción muy interesante consiste en mezclar octahidrato de hidróxido de bario sólido. (Ba(OH)₂·8H₂O) y tiocianato de amonio (NH₄SCN) y luego apoyándolo sobre un trozo de papel de filtro húmedo sobre un trozo de madera. La suspensión líquida que se forma se enfría tanto que ¡el agua del papel de filtro se congela en la madera y en el vaso!



Cuando una reacción se vuelve fría al tacto, significa que los reactivos están absorbiendo más energía para romper los enlaces de la que liberan los productos para formar enlaces. Esto significa que la reacción es endotérmica.



SHUTTERSTOCK

TIPOS DE ESCARCHAS

La escarcha ocurre cuando el vapor de agua del aire se deposita en una superficie. El hielo se produce cuando el agua líquida se congela.



Escarcha de ventana

La escarcha en las ventanas se forma cuando un panel de vidrio está expuesto a temperaturas bajo cero en el exterior y aire caliente en el interior. La escarcha se forma en el lado cálido del vaso y es un ejemplo de deposición—gas formando un sólido sin pasar a través de la fase líquida.



Escarcha "canosa"

Se forma escarcha cuando el vapor de agua se congela y los granos se convierten en partículas parecidas a pelos largos sobre una superficie. Otro ejemplo de deposición, las partículas de agua se forman a partir del agua en el aire.



Flores escarchadas

Este raro fenómeno ocurre cuando el agua sale de los poros de los árboles. No es en realidad una escarcha, a pesar del nombre, porque está formada por agua congelada.



Escarcha helada

La escarcha se forma cuando el vapor de agua, en forma de niebla cerca al punto de congelación del agua, entra en contacto con superficies que están por debajo de 0 °C (32 °F). El viento hace que los "dedos" de escarcha formen unas largas columnas decristales de hielo.

SHUTTERSTOCK/KELLEY DONAGHY