

La Ciencia



de

HACER CAMELOS

Por Tom Husband

Aquí mostramos una receta fácil para hacer caramelos: Calentar una taza de agua en una olla hasta que hierva, agregar tres tazas de azúcar y revolver con una cuchara. Luego, verter la solución en un frasco de vidrio. Colocar un palito de madera dentro del almíbar, y dejar reposar durante unos días. Cuando regreses, encontrarás... caramelo de roca.



El caramelo de roca tiene una textura única. Está hecho de trozos grandes de azúcar con sabores que puedes crujielos en la boca. Otros dulces vienen en una variedad de texturas: **masticable (caramelo blando)**, **arenoso (algodón de azúcar)**, o **duro (cristal de caramelo)**. Dado que todos los caramelos están hechos con azúcar, qué hace que sus texturas sean tan diferentes?

Caramelo de roca

Para hacer la mayoría de los tipos de caramelos, siempre se empieza por disolver azúcar en agua hirviendo. Esto forma un almíbar de azúcar, que se puede enfriar retirándolo del fogón. Pero, de la manera cómo enfrías el almíbar puede hacer toda la diferencia.

Por ejemplo, si quieres hacer caramelo de roca, es necesario dejar enfriar el almíbar lentamente durante muchos días hasta que se formen cristales grandes de azúcar. Pero si quieres producir caramelo blando, lo que necesitas es agitar continuamente el almíbar

después de un período de enfriamiento inicial, así que cuando se forman los cristales de azúcar, se quedan pequeños y no crecen demasiado. Si deseas hacer algodón de azúcar y cristal de caramelo, es necesario enfriar el almíbar rápidamente para evitar la formación de cristales.

La diferencia principal entre estos diferentes tipos de caramelos es si los cristales de azúcar se forman y, en caso afirmativo,



La mayoría de los dulces se preparan por disolución de azúcar en agua para formar un almíbar.

cuáles son sus tamaños. Entonces, ¿cómo se forman los cristales de azúcar, y qué causa que estos tengan diferentes tamaños cuando el almíbar se enfría?

Supongamos que podemos ver el azúcar a nivel molecular. Cada grano de azúcar consta de un pequeño cristal hecho de un arreglo ordenado de moléculas de un compuesto llamado sacarosa. La sacarosa es un ejemplo de un hidrato de carbono. La unidad básica de un hidrato de carbono es un monosacárido o azúcar simple, tal como glucosa o fructosa (Fig. 1). Estos azúcares simples pueden ser unidos entre sí de infinitas maneras. La sacarosa es un disacárido formado por glucosa y fructosa (Fig. 1 y Fig. 2).

En un cristal de azúcar, las moléculas de sacarosa están arregladas en un patrón repetitivo que se extiende en las tres dimensiones, y todas estas moléculas son atraídas entre sí por fuerzas intermoleculares—un tipo de interacción que junta moléculas y es más débil que los enlaces entre átomos en una molécula.

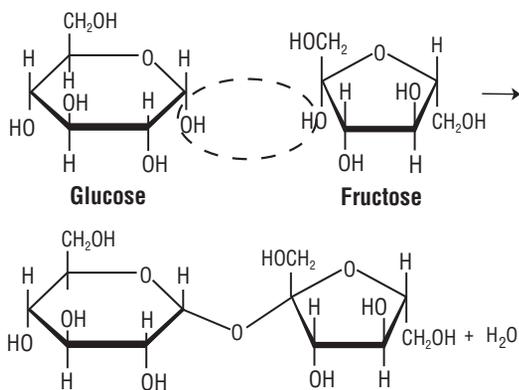


Figura 1. Sacarosa se produce a partir de la reacción química entre dos azúcares simples llamadas glucosa y fructosa.

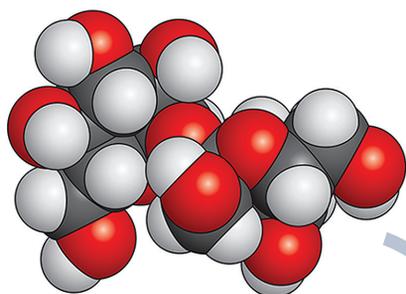


Figura 2 Modelo de espacio lleno de una molécula de sacarosa

Cuando agregas azúcar granulada al agua, algunas de las moléculas de sacarosa empiezan a separarse unas de otras porque se sienten atraídas por las moléculas de agua (Fig. 3). Cuando el agua y las moléculas de sacarosa están cerca una de la otra, interactúan a través de fuerzas intermoleculares que son similares a las fuerzas intermoleculares entre las moléculas de sacarosa.

El proceso de disolución implica dos pasos: En primer lugar, las moléculas de agua se unen a las moléculas de sacarosa; y segundo, las moléculas de agua separan las moléculas de sacarosa del cristal y las llevan a la solución.

En general, sólo una cierta cantidad de un sólido puede ser disuelto en agua en un volumen y temperatura dada. Si se añade más de esa cantidad, ese sólido no se disolverá. En esta etapa, se dice que la solución está saturada. El sólido adicional simplemente cae al fondo del recipiente.

¿Por qué es así? Si fueras capaz de ver las moléculas de sacarosa y agua, te darías cuenta de que, al principio, cuando se agrega una pequeña cantidad de azúcar granulada al agua, la mayoría de las moléculas de sacarosa

están dejando los cristales de azúcar, alejadas por las moléculas de agua. También te darías cuenta de que algunas de las moléculas de sacarosa disueltas también están cristalizando, es decir, no sólo son moléculas de sacarosa que salen de los cristales de azúcar, sino que otras moléculas de sacarosa se reincorporan a los cristales de azúcar. (Fig. 4). La razón es que las moléculas de sacarosa se mueven constantemente en la solución, de modo que nada impide que algunas de ellas se unan de nuevo a las moléculas de sacarosa en los cristales de azúcar. Sin embargo, la rapidez de disolución es mayor que la velocidad de cristalización—al menos hasta que la solución es saturada— en general, los cristales de azúcar permanecen disueltos en el agua.



A medida que agregamos más azúcar granulada a la solución, la velocidad de disolución disminuye y la velocidad de cristalización aumenta, por lo que en algún momento, ambas son iguales. En otras palabras, el número de moléculas de sacarosa que salen

de los cristales es el mismo que el número de moléculas de sacarosa que se une a los cristales. Esto es lo que sucede cuando la solución está saturada.

Como resultado, pasado ese punto, si añadimos más cristales de azúcar, el proceso de disolución continuará, pero será exactamente equilibrado por el proceso de recristalización. Así que los cristales de azúcar no pueden disolverse más en el agua. En este caso, los cristales y la solución están en equilibrio dinámico. Esto significa que el tamaño de los cristales sigue siendo el mismo, a pesar de que las moléculas de sacarosa están cons-

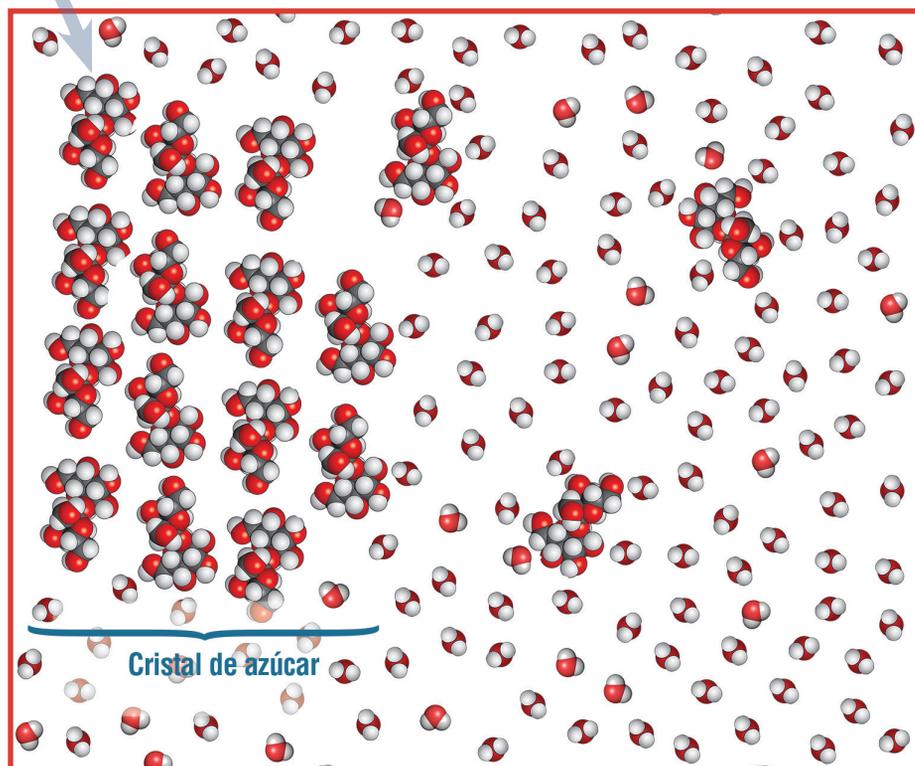


Figura 3. Cuando se añade azúcar granulada al agua, se separa debido a que las moléculas de agua son atraídas a las moléculas de sacarosa a través de las fuerzas intermoleculares. Como resultado, cada molécula de sacarosa está rodeada por moléculas de agua y es llevada a la solución.

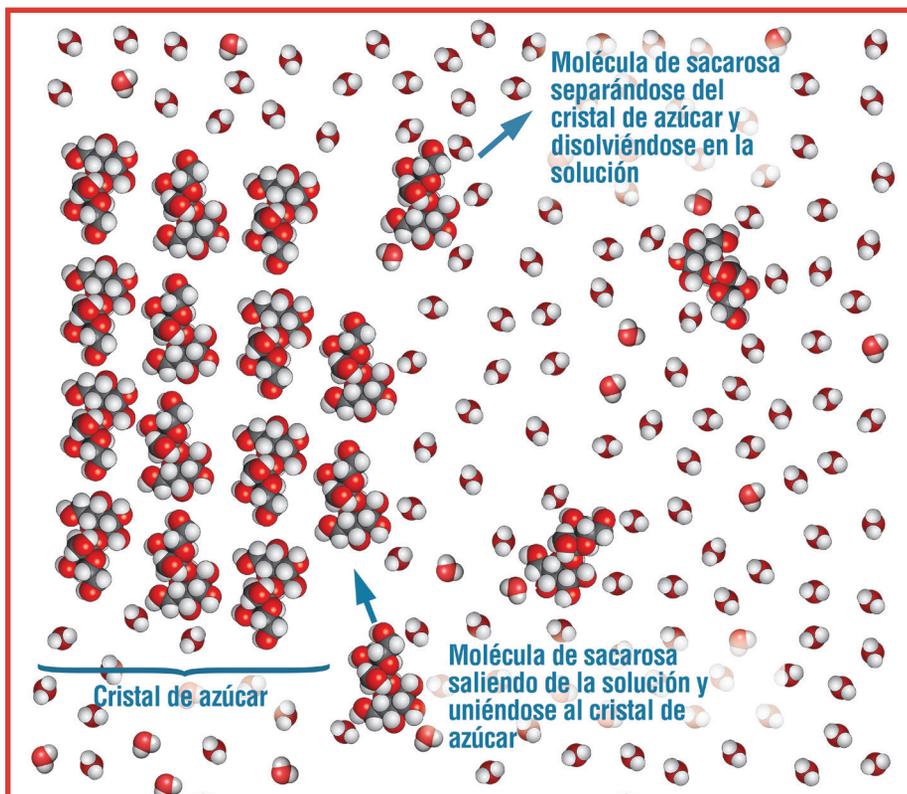
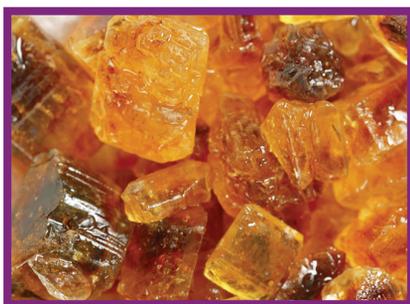


Figura 4. Cuando se añade un cristal de azúcar a una taza de agua, algunas moléculas de sacarosa se separan del cristal, mientras que otros se unen al cristal. Si el cristal se disuelve en agua o crece en tamaño se determina comparando el número relativo de moléculas de sacarosa disolviéndose y dejando el cristal con el número de moléculas de sacarosa dejando la solución y uniéndose al cristal.

tantemente cambiando lugares entre la solución y los cristales.

Para hacer el caramelo de roca, utilizamos inicialmente más azúcar de la que podría disolverse en agua a temperatura ambiente (tres tazas de azúcar para una taza de agua). La única manera de conseguir que todo el azúcar se disuelva es calentando el agua, porque el aumento en la temperatura provoca que más azúcar se disuelva en agua. En otras palabras, el equilibrio dinámico se ve afectado por un cambio en la temperatura. Si aumentamos la temperatura, aumentamos el proceso de disolución, y si reducimos la temperatura, disminuimos el proceso de disolución.

El proceso de cristalización se explica por el principio de Le Châtelier, que establece que un sistema que se desplaza fuera del equilibrio actúa para restablecer el equilibrio mediante una reacción en contra del cambio. Así, un aumento de la temperatura hace que



el sistema disminuya la energía, en un intento de bajar la temperatura. Debido a que la ruptura de los enlaces químicos siempre absorbe la energía, esto enfría el sistema, por lo que más moléculas de sacarosa se separan y

se disuelven en la solución.

¿Qué sucede cuando la solución se enfría? En este punto, vemos que se forman cristales de azúcar. Esto también se explica por el principio de Le Châtelier: Una disminución en la temperatura hace que un sistema genere energía, en un intento de subir la temperatura. Debido a que la formación de enlaces químicos siempre libera energía, más moléculas de sacarosa se unirán al cristal en un intento de aumentar la temperatura. Esto explica por qué los cristales se forman cuando la temperatura disminuye.

Una vez que la solución saturada comienza a enfriarse, se vuelve sobresaturada. Una

solución sobresaturada es inestable—contiene más soluto (en este caso, el azúcar) de la que puede permanecer en solución— de manera que la temperatura disminuye, y el azúcar sale de la solución, formando cristales. Cuanto menor sea la temperatura, más moléculas se unirán a los cristales de azúcar, y así es como se crea el caramelo de roca.

Pequeños cristales de caramelo blando

Caramelo de roca está hecho de grandes cristales de azúcar, pero otros dulces, como el caramelo blando contiene cristales de azúcar más pequeños. *A medida que el almíbar de azúcar se enfría, qué podemos hacer para asegurar que sólo se forman pequeños cristales?*

La respuesta: Mezclar el almíbar con una cuchara o una espátula. La agitación evita que los cristales de azúcar que comienzan a formar crezcan demasiado. En general, un cristal crece a partir de una “semilla de cristal”, que



es un grupo de moléculas de sacarosa, una mota de polvo, o una burbuja de gas. La agitación hace que las moléculas de sacarosa al ser empujadas una dentro de otra, formen semillas de cristal a lo largo del almíbar. Los cristales resultantes serán más pequeños cuando más de las semillas de cristal estén presentes, debido a que las moléculas de sacarosa pueden unirse a un mayor número de semillas de cristal.

Si deseas hacer caramelo blando, primero calienta el almíbar a una temperatura por encima del punto de ebullición de agua (100 °C), y luego vierte en un molde para hacer que el almíbar se enfríe más rápido. La razón por la que el almíbar debe enfriarse rápidamente es que las moléculas de sacarosa no tienen tiempo suficiente para formar interacciones intermoleculares y crecer en cristales grandes. Algunos de ellos formarán semillas de cristal, pero la mayoría de las moléculas de sacarosa no interactúan entre sí.

Por el contrario, si el almíbar se enfría lentamente, las moléculas de sacarosa tendrían tiempo para organizarse y formar los



crisales de mayor tamaño.

Después de que el almíbar se enfría a 50 °C, se puede empezar a agitarlo o rasparlo. Es importante dejar que el caramelo blando enfríe a 50 °C porque si se agita durante esta fase de enfriamiento, las semillas de cristal probablemente se formarán demasiado pronto y, como resultado, se pueden cristalizar de la solución, y la textura del caramelo blando sería granulada. Entonces el almíbar se vuelve sobresaturado, similar a lo que pasó con el almíbar utilizado para hacer dulces de roca—el almíbar contiene más moléculas de sacarosa de las que se pueden quedar disueltas.

Mientras revuelves el caramelo blando, muchos cristales se forman a la vez, y la agitación ayuda a que las moléculas de sacarosa se unan entre sí y se empiecen a formar cristales pequeños. El objetivo principal es mantener la agitación continua, lo que genera un mayor número de pequeños cristales. A medida que la temperatura disminuye aún más, las moléculas de sacarosa se extienden entre las muchas semillas de cristal y se unen a cualquiera de ellas, manteniendo el tamaño de los cristales pequeños. Esto crea el intenso sabor, textura típica del caramelo blando que se derrite en la boca.

No hay cristales en absoluto

Algunos dulces no tienen cristales en absoluto. Ejemplos de este tipo de caramelos incluyen cristal de caramelo, gomitas, y algodón de azúcar.

Cristal de caramelo se llama así debido a su estructura no cristalina.

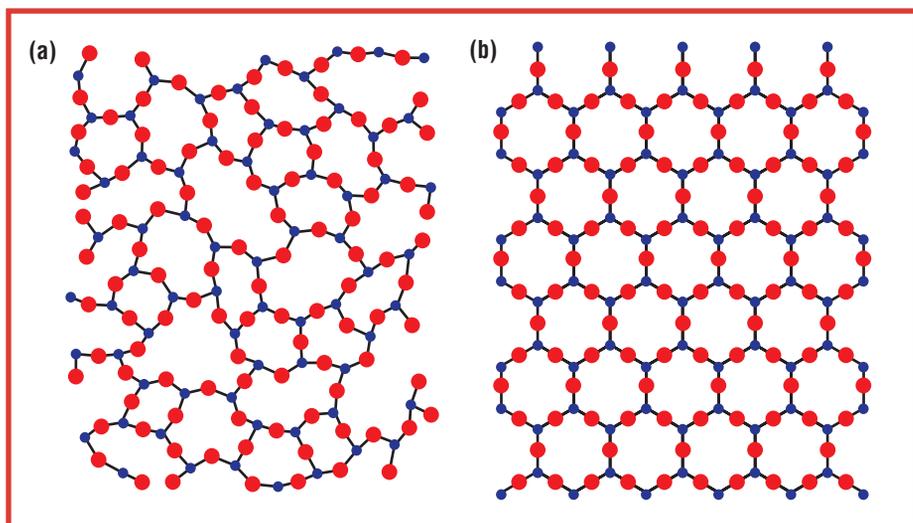


Figura 5 Comparación de las estructuras químicas de (a) un sólido amorfo hecho de dióxido de silicio (vidrio) (b) de un cristal de dióxido de silicio (cuarzo)

Por lo general, cuando la gente usa la palabra “cristal”, quieren decir el material transparente utilizado para hacer ventanas. Pero el vidrio tiene un significado más general: es un sólido con una estructura amorfa, que es una estructura irregular, sin un patrón. Por el contrario, un cristal es un sólido con una estructura altamente ordenada. Por ejemplo, la Fig. 5 muestra las diferencias entre las estructuras de cristal y de vidrio de dióxido de silicio (una molécula que tiene una estructura más simple que la sacarosa y es más fácil de representar).

Para hacer el cristal de caramelo, enfría el almíbar de azúcar con tanta rapidez que los cristales no tienen tiempo para formarse. Las moléculas de sacarosa disueltas empiezan a unirse entre sí, pero en ningún orden en particular. Cuando esto sucede, el caramelo es amorfo, y toma la apariencia de vidrio.

Gomitas y malvaviscos se producen de manera similar. En el caso de las gomitas, se añade gelatina al almíbar de azúcar para darle una consistencia gomosa. Los malvaviscos también contienen gelatina, pero se bate aire en la mezcla

para expandirlo en una espuma—una mezcla compuesta de burbujas de gas dispersas en un líquido.

Algodón de azúcar se produce un poco diferente debido a que el proceso no se inicia con el almíbar de azúcar. En primer lugar, la azúcar granulada se calienta en una máquina de algodón de azúcar hasta que se funde y las fuerzas intermoleculares entre las moléculas de sacarosa se rompen. Habiendo licuado el azúcar, la máquina de algodón de azúcar a continuación, rocía el líquido a través de pequeñas boquillas de manera que forme filamentos finos de líquido que se solidifican inmediatamente.

Este enfriamiento rápido del líquido en aire abierto no permite que las moléculas de sacarosa formen cristales, y los hilos de vidrio se crean en su lugar. Estos hilos de vidrio son tan finos que se derriten en tu boca, la cual es la experiencia maravillosa de comer algodón de azúcar.

Un almíbar, muchos caramelos

La mayoría de los caramelos están hechos de almíbar sin embargo, su textura puede variar sustancialmente. Hay dos factores que juegan un papel clave: la cantidad de tiempo



para que los cristales crezcan, y la forma en que el almíbar se maneja mientras se enfría.

En el caso del caramelo de roca, el almíbar se deja reposar durante varios días, lo que proporciona un suficiente tiempo para la formación de cristales grandes. En el caso del caramelo blando, debido a que el almíbar se agita continuamente, se forman un gran número de pequeños cristales. Al hacer cristal de caramelos, gomitas, o malvaviscos, el almíbar se enfría tan rápidamente que los cristales no se pueden formar en absoluto.

Hacer caramelos es en realidad química en acción. Tú puedes manipular el tamaño de los cristales de azúcar—incluso si no puedes verlos— para producir una gran variedad de texturas. Esta habilidad se ha desarrollado a lo largo de cientos de años, antes de que se

entendiera la ciencia de hacer caramelos. Pero incluso entonces, esta forma de arte nos dice algo interesante sobre la química: No es sólo la combinación de ingredientes que definen un producto, sino también la forma en que se mezclan entre sí. *CM*

REFERENCIAS SELECCIONADAS

McGee, H. *McGee on Food and Cooking: An Encyclopedia of Kitchen Science, History, and Culture*. Hodder and Stoughton: London, 2004:

<https://www.hodder.co.uk/books/detail.page?isbn=9780340831496> [accedido en julio de 2014].

Make Rock Candy. Michigan Department of Natural Resources, Sept 10, 2010:

http://www.michigan.gov/dnr/0,1607,7-153-54463_19268_20778-52395--,00.html [accedido en julio de 2014].

Tom Husband es un escritor de ciencia y profesor de química en Londres, Reino Unido. Su último artículo *ChemMatters*, "Dos es mejor que uno", apareció en la edición de diciembre de 2012.



Proyecto SEED, establecido en 1968, ofrece a los estudiantes de secundaria de bajos recursos económicos la oportunidad de experimentar una carrera relacionada en ciencias de la química. El programa vincula a los estudiantes en laboratorios académicos, industriales y gubernamentales por 8 a 10 semanas durante el verano para realizar prácticas en proyectos de investigación en ciencias con científicos voluntarios. Estudiantes del Proyecto SEED reciben un estipendio de 2,500 dólares por su primer verano.

Exalumnos del Proyecto SEED son elegibles para aplicar a una beca no-renovable para el primer año universitario. Las becas están destinadas a ayudar a los exalumnos del Proyecto SEED en su transición de la secundaria a la universidad. Las becas están diseñadas para estudiantes que se especializarán en un campo de la ciencia química, tales como la química, la ingeniería química, la bioquímica, o la ciencia de materiales.



Para obtener más información acerca del **Proyecto SEED**, por favor contacte a: **Project SEED**
American Chemical Society, Education Division
1155 Sixteenth Street, NW, Washington, DC 20036
Tel: 202-872-4380; E-mail: projectseed@acs.org
<http://www.acs.org/projectseed>