

Juegos y Rarezas Matemáticas

Hielo salado y helado casero

Salt ice and homemade ice-cream

Franco Bagnoli¹ & Rosa M. Herrera²

Revista de Investigación



Volumen VI, Número 1, pp. 107-112, ISSN 2174-0410

Recepción: 1 Abr'15; Aceptación: 3 Nov'15

1 de abril de 2016

Resumen

Este experimento se presenta ante el público asistente a un evento científico acompañado por la lectura de un cómic. Así, de modo simpático se propicia la reflexión sobre un hecho físico bien conocido a nivel práctico y bastante utilizado, pero cuyos fundamentos físicos no siempre se comprenden: al introducir sal entre hielo se reduce la temperatura de la mezcla y se derrite el hielo.

Palabras Clave: Hielo, sal, punto eutéctico, temperatura.

Abstract

A popular comic is used to introduce this experiment. This sympathetic way reflection on a physical fact well known to practical level and fairly used, but whose physical fundamentals are not always understood: introducing salt in ice is reduced the temperature of the mixture, and the ice melts.

Keywords: Ice, Salt, Eutectic Point, Temperature.

1. Introducción

En este artículo describimos una relación matemática sencilla entre la entropía, la energía y la temperatura en el contexto de una experiencia física muy interesante y cercana. Nuestra idea es mostrar que las matemáticas están presentes en los aspectos cotidianos de nuestra vida. La relación de estas magnitudes tiene forma muy sencilla, independientemente de la complejidad del contenido de los conceptos que encierra.

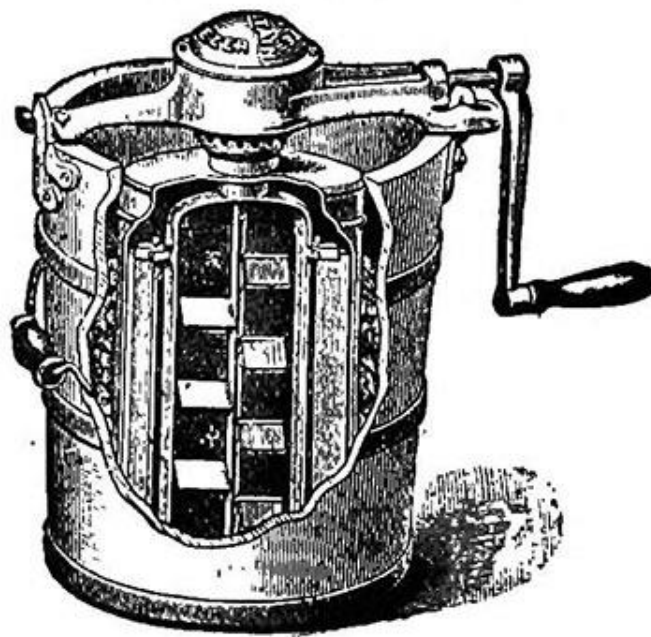
¹ Franco Bagnoli, idea y versión original.

² Rosa M. Herrera, traducción y adaptación española.

Comúnmente, en invierno se echa sal a las calles para derretir el hielo. Se puede fácilmente enseñar al público que una cuchara de hielo funde rápidamente un bloque de hielo. Si preguntamos al público cómo es posible explicar este fenómeno, seguramente habrá personas que asumirán que la sal, de una u otra manera, hace subir la temperatura del hielo.

En este punto, invitamos al público a sostener un cubito de hielo simple en una mano, y otro cubito esta vez cubierto de sal en la otra. Rápidamente, todo el mundo se dará cuenta de que la temperatura del hielo salado es mucho más baja que la del hielo. En realidad, una mezcla de hielo y sal puede alcanzar los $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ (por lo tanto, es inútil extender sal en las calles heladas a temperaturas inferiores a esta), conviene señalar que hay que tener cuidado para que nadie se dañe las manos [1].

Efectivamente, hasta hace pocos años, para hacer un helado casero se solía poner hielo y sal en un recipiente amplio adecuado, y se vertía la leche con azúcar (o cualquier otra mezcla que se deseara convertir en helado) en otro recipiente de menor tamaño, preferiblemente metálico, en el interior del primero, ver figura 1.



THE MOUNTAIN ICE FREEZER.

Figura 1. Una heladera casera.

Se necesitaba girar continuamente la manivela (en algunas máquinas como la de la figura 1) para introducir aire y evitar la formación de cristales de hielo grandes; pero en la elaboración más artesanal y casera simplemente se daba vueltas a los ingredientes con una cuchara.

Las primeras heladeras eléctricas se limitaban a efectuar solo esta última tarea y una hélice hacía girar el helado, para conseguir enfriar era preciso añadir hielo y sal.

En un “espectáculo” de física, se puede hacer un helado “instantáneo” (en realidad se necesita una media hora) poniendo los ingredientes en una bolsa de plástico (cerrada herméticamente) introducida en una bolsa de mayor tamaño conteniendo hielo y sal [2].

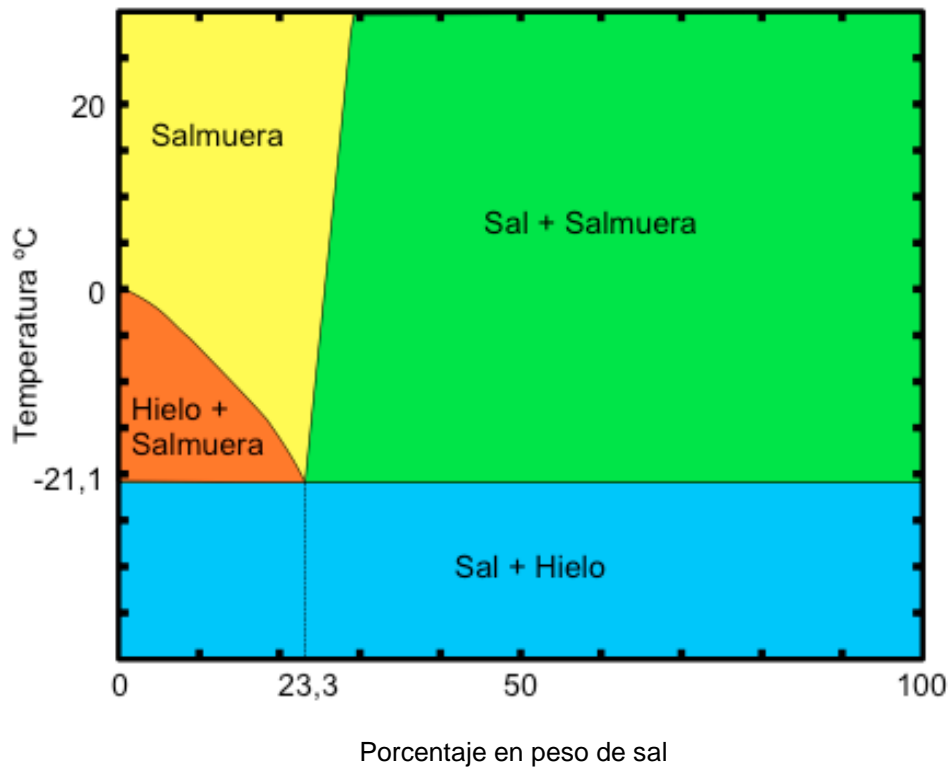


Figura 2. Diagrama de fase de una mezcla de hielo y sal.

Quien tenga una mente más analítica puede encontrar todos los detalles en la figura 2, que muestra el diagrama de fase de una mezcla de hielo y sal. El agua salada se llama salmuera (parte amarilla), pero si hay exceso de sal no se disuelve totalmente (parte verde). En la parte azul se representa el hielo y la sal que permanecen separados, y en la parte anaranjada hay un exceso de hielo. Como se puede ver, el equilibrio entre sal, hielo y salmuera se alcanza a una temperatura de equilibrio de -21 °C.

2. Explicación

El fenómeno que se produce no tiene una explicación sencilla, porque no podemos basarnos simplemente en consideraciones energéticas. De hecho, las moléculas de agua y los iones de sal (sodio y cloro) “prefieren” permanecer separados desde el punto de vista energético y sabemos que esto ocurre por debajo de -21 °C. Podemos presentar el problema con el modelo “Mercedes-Benz” [3] que también utilizamos para ilustrar la disminución de la densidad del agua durante la congelación [4].

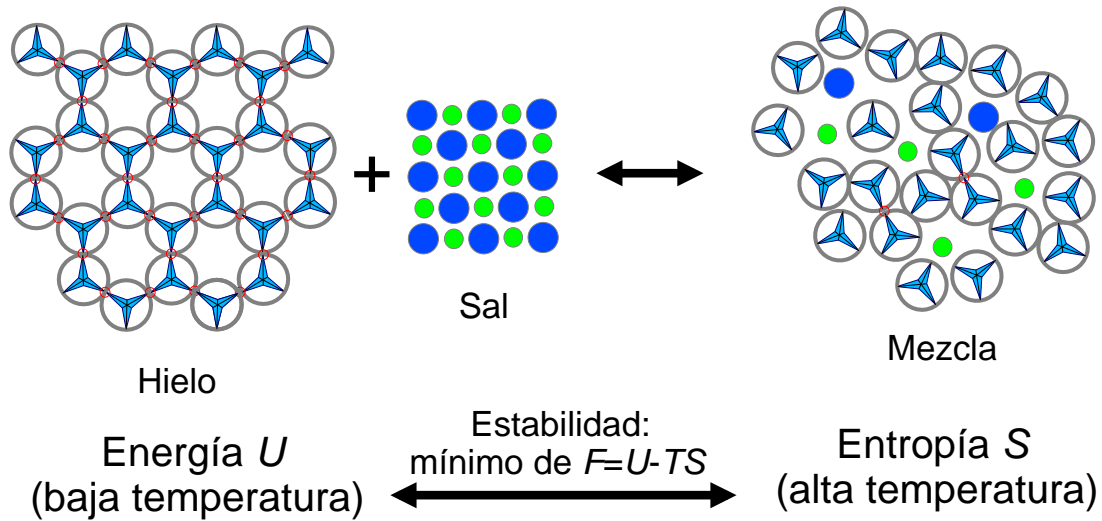


Figura 3. Representación esquemática de la mezcla de iones de agua y sal utilizando el modelo de Mercedes-Benz.

Como puede verse en la figura 3, los iones de cloro y de sodio se acoplan bien (permaneciendo con carga) entre las moléculas de agua, que son polares, pero al hacerlo interrumpen la estructura ordenada de los cristales de hielo y sal. Como sucede en el caso de la fusión, este hecho implica que la mezcla es estable a altas temperaturas, y que los cristales son estables a bajas temperaturas.

Entonces, ¿por qué la temperatura disminuye cuando la sal se mezcla con el hielo? Volvamos a la explicación anterior: estructuras desordenadas son estables a altas temperaturas, y estructuras ordenadas lo son a bajas temperaturas. Esta última está claramente favorecida por la energía, pero ¿qué ocurre con la primera? Tenemos que introducir el concepto de entropía, S , que es el (logaritmo del) número de posibles configuraciones.

Utilizando un modelo simple unidimensional (figura 4), podemos apreciar la diferencia en el número de configuraciones para estructuras ordenadas y desordenadas. Si la diferencia de energía entre los dos tipos de estructuras es grande, se prefiere el orden con fluctuaciones ocasionales y locales (para temperaturas por encima del cero absoluto y en un marco clásico). Pero si la diferencia de energía no es muy grande, las fluctuaciones que elevan la energía tienen lugar con mayor frecuencia y cuando se destruye el orden, se recupera con dificultad porque hay muchas configuraciones desordenadas próximas, no muy lejanas energéticamente, y sin embargo solo una ordenada.



Figura 4. Número de configuración en una disposición ordenada y desordenada de moléculas e iones en un modelo unidimensional.

Los científicos acostumbran a introducir el concepto de energía libre:

$$F = U - TS$$

donde U es la energía y T la temperatura. La estabilidad de un sistema está dada por el mínimo de la F , y de la fórmula anterior es fácil ver que para valores bajos de la temperatura prevalece la energía, y sin embargo la entropía, S , (que tiene signo menos) es la que predomina cuando la temperatura es alta.

Así, añadiendo sal al hielo por encima de $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$, las moléculas tienden a alcanzar una configuración estable mediante la mezcla, pero esto requiere energía para romper los enlaces de hidrógeno de hielo y para disolver la sal (el calor latente de hielo es $6,01\text{ kJ/mol}$ y el cloruro de sodio requiere $3,87\text{ kJ/mol}$).

3. El fenómeno en los cómics

Finalmente, se puede mostrar que, tal vez, los cómics son útiles para enseñar física. En 1989, Don Rosa produjo como homenaje a su "guía" Carl Barks, una secuela de la historieta "Perdidos en los Andes" [4], titulada, "Regreso a Cuadrolandia" [5].

En ella, el tío Rico MacPato pretende inculcar el interés por el dinero a los ingenuos cuadrilanderos, y para alcanzar su fin muestra su primera moneda a la asamblea ciudadana. Pero...¡Ay, ay, ay! En Cuadrilandia todo es cuadrado e importar cosas redondas supone un crimen intolerable. El único modo de liberar a MacPato, detenido por "dar formas redondas a cosas", es entregar al presidente un helado "con refresco" (ice cream soda, figura 5). Donald y sus sobrinos tienen que competir contra Gilberto Oro (Flintheart Glomgold) para conseguir esta exótica delicia. Gilberto, como era de esperar, traiciona el acuerdo anterior tras haber conseguido el helado, lo que pone en un apuro a los chicos que logran fabricar un helado de emergencia allí mismo, utilizando leche en polvo, azúcar y chocolate de sus raciones de comida, mezclando sal y nieve para enfriarlo y agua carbonatada de un extintor de incendios como sustituto de un refresco.



Figura 5. Helado al refresco (ice cream soda).

Y ahora nuestro desafío: ¿por qué es la escala Fahrenheit es tan extraña y por qué se corresponde su cero a (aproximadamente) $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Referencias

- [1] Salt and ice challenge, http://en.wikipedia.org/wiki/Salt_and_ice_challenge.
- [2] SPANGLER, Steve. *The Spangler Effect – Homemade Ice Cream*,
<https://www.youtube.com/watch?v=Y5XzhdQ5Bw>.
- [3] SILVERSTEIN, K. A. T. , HAYMET, A. D. J., and DILL, K. A. *A Simple Model of Water and the Hydrophobic Effect*, J. Am. Chem. Soc. 120, 3166-3175 (1998). doi: 10.1021/ja973029k
- [4] BAGNOLI, Franco. *Física de todos los días: los caudales congelados*, Revista C2
<http://www.revistac2.com/los-caudales-congelados#sthash.YuB7cSdH> (2014).
- [5] BARKS, Carl. *Lost in the Andes!*, <http://coa.inducks.org/story.php?c=W+OS++223-02>,
http://en.wikipedia.org/wiki/Lost_in_the_Andes (1949).
- [6] ROSA, Don. *Return to Plain Awful*, <http://coa.inducks.org/story.php?c=AR+130>;
http://en.wikipedia.org/wiki/Return_to_Plain_Awful (1989). Según INDUCKS la única edición en lengua castellana fue en Colombia (1995) con el título “Regreso a Cuadrilandia”. Para leerlo online: <http://www.zocoi.com/books/142-scrooge-mcduck-return-to-plain-awful>
- [7] The Fahrenheit scale, <http://en.wikipedia.org/wiki/Fahrenheit>.

Sobre los autores:

Nombre: Franco Bagnoli

Correo Electrónico: franco.bagnoli@unifi.it

Institución: Department of Physics and Astronomy & CSDC (University of Florence), Italy.

Nombre: Rosa M. Herrera

Correo Electrónico: herrera.rm@gmail.com

Institución: Research Group Cel- Mec (SEAC).