

Ravioles, sal, y una pizca de física

Quisiera compartir con ustedes una curiosa experiencia que de seguro les abrirá el apetito. Aquello aconteció en la cocina de mi hogar, mientras mi estómago demandaba a gritos algo de comida. Por más que intentaba desviar mi mirada hacia otro lado, no podía dejar de observar aquella olla, cuyo contenido prometía aplacar el hambre que me asediaba. Ajenos a mis ansias, los ravioles que flotaban en el agua dentro de la olla, recibían el continuo flujo de calor producido por el quemador a gas de mi cocina, que en ese momento se encontraba regulado al máximo. Transcurridos pocos minutos, los ravioles comenzaron a zarandear al compás del hervor que recién comenzaba. De pronto, y mientras observaba atentamente aquel hervor, ocurrió algo que me hizo olvidar por un momento mi voraz apetito. ¿Cómo puedo ahorrar más energía sin afectar la cocción de los ravioles?... ¿manteniendo el quemador a su máxima potencia, o bajando su intensidad de tal manera que el agua siga hirviendo? Tal fue la profunda reflexión que desvió mi interés desde los ravioles, hacia la física del hervor. Y la respuesta no se hizo esperar: conviene bajar la intensidad del quemador, siempre y cuando el agua continúe hirviendo.

Para entender el porqué de lo anterior, debemos recordar que la materia puede existir en tres fases o estados que son bien conocidos: sólido, líquido y gaseoso. El caso del agua es el más interesante, porque es la única sustancia que bajo condiciones naturales puede existir en los tres estados, vale decir, puede encontrarse en fase sólida, que corresponde al hielo, puede estar en forma líquida, su estado más abundante, y también puede existir como vapor, que desde luego corresponde a la fase gaseosa. A nivel de los constituyentes microscópicos de la materia, es decir, al nivel de las moléculas (o átomos), cada estado se distingue de los demás, esencialmente, por la distancia media que separa a dichas moléculas. La fase sólida corresponde al caso cuando la materia se halla más comprimida, de modo que, en término medio, sus moléculas se encuentran más juntas que en los otros dos estados¹. Del mismo modo, en la fase líquida, las moléculas se encuentran más comprimidas que en la fase gaseosa. Por otra parte, cada uno de estos estados se presenta bajo condiciones de presión y temperatura bien definidas. Como consecuencia de ello, si modificamos la temperatura a que está expuesta alguna sustancia, o alteramos la presión, o ambas, es posible cambiar el estado de aquella sustancia. En general, un cambio de fase es el resultado de una transferencia neta de energía. Así por ejemplo, si deseamos evaporar una cierta cantidad de agua, esto es, pasarla desde la fase líquida a la fase gaseosa, debemos entregarle energía en forma de calor².

Regresemos ahora a mi experiencia con los ravioles. Como no dispongo de información científica exacta, vamos a suponer que inicialmente la olla contenía 1 kilogramo (kg) de agua, de los cuales, 250 gramos (g) consiguieron evaporarse después de algunos minutos de exposición al fuego. Supondremos, además, que en el momento de encender el quemador a gas, la presión en la cocina era de 1 atmósfera (atm) y la temperatura del agua de 15 grados Celsius (°C). ¿Qué cantidad de calor debe suministrar la flama para evaporar 250 kg de agua? Para responder a esta pregunta debemos dividir el problema en dos partes. La primera corresponde al cálculo de la energía que el quemador tiene que entregar al agua para variar su temperatura desde un valor inicial de 15°C hasta un valor final de 100°C, el cual corresponde a la temperatura de evaporación

¹ El agua es una notable excepción a este respecto. De hecho, cuando la temperatura del agua aumenta entre 0°C y 4°C, su volumen disminuye. Esto explica el hecho de que un cubo de hielo pueda flotar en el agua.

² En este punto conviene recordar que el calor es aquella forma de energía que se transfiere entre dos cuerpos debido a una diferencia de temperatura entre ambos

del agua. Después de algunos cálculos bastante simples (ver el apéndice) se encuentra que esta energía es de 85.000 calorías (cal), resultado que en notación compacta se escribe como 85 kcal.

La segunda parte del problema, y que para nuestros propósitos es la que reviste mayor interés, corresponde al proceso de evaporación. Lo interesante de esta segunda etapa consiste en que la evaporación se efectúa a una temperatura constante de 100°C. Por lo tanto, desde el mismo momento en que el agua comienza a hervir, la temperatura deja de aumentar. He aquí la razón del porque es posible bajar la intensidad del quemador sin afectar la cocción de los raviolos. Antes de intentar explicar este curioso fenómeno, digamos que el calor necesario para transformar 250 g de agua en vapor es de 135 kcal, que equivale a 1,6 veces la energía empleada en la primera parte. Esto significa que para evaporar un cuarto del agua inicial, se ha consumido 1,6 veces más energía que para elevar la temperatura de toda el agua desde 15°C hasta 100°C. No cabe duda que se trata de un resultado notable, que se explica porque durante el proceso de evaporación, el calor suministrado por la flama se emplea tanto para romper los enlaces químicos que unen las moléculas de agua (H₂O), como para separar estas moléculas una gran distancia.

¿Por qué la evaporación se produce a temperatura constante? Para ser precisos, hay que señalar que todas las sustancias cambian de fase sin experimentar variaciones en su temperatura, y la evaporación es, como sabemos, un cambio de fase. Durante la etapa inicial, es decir, antes de que comience la evaporación, una buena parte de la energía entregada por la flama es usada para incrementar la temperatura del agua. A nivel microscópico, dicha temperatura no es otra cosa que una medida de la rapidez promedio de las moléculas de H₂O. Cuanto mayor es la rapidez media de estas últimas, tanto mayor será la temperatura del agua. En la jerga científica, decimos que las moléculas de agua poseen energía cinética, que es aquella forma de energía asociada al movimiento. Ahora bien, una vez que se alcanzan los 100°C y comienza el proceso de ebullición, el calor entregado por la flama empieza a escapar continuamente de la olla a través del vapor, cuyas moléculas se llevan consigo la energía cinética de la que son portadoras, evitando con ello que la temperatura aumente. Recordemos que los 250 g de agua que consiguieron evaporarse de la olla, se llevaron nada menos que 135 kcal. Por lo tanto, si fuese posible impedir de algún modo que dicha energía escape de la olla, o si pudiésemos reducir la cantidad de calor eliminado a través del vapor, entonces sería posible cocer los alimentos a temperaturas mayores a 100°C, reduciendo con ello el tiempo de cocción. En este simple principio se basa el funcionamiento de las ollas a presión.

Retomando el hilo de la discusión deseo enfatizar que la evaporación, al igual que todo cambio de fase, es un proceso que transcurre a temperatura constante, siempre y cuando la presión no experimente variaciones. Luego, a modo de síntesis podemos afirmar que en tanto el agua siga hirviendo, es posible bajar el nivel de la flama sin afectar la cocción de los raviolos, puesto que la temperatura del agua permanece sin cambio a 100°C. A propósito de raviolos, ha llegado la hora de poner término a este artículo porque mi estómago ha comenzado a demandar a gritos algo de comida... bon appetit.

¿Quieres saber más?

La cantidad de calor Q necesaria para elevar la temperatura de un cuerpo, es proporcional a la variación de temperatura ΔT y a la masa m de la sustancia:

$$Q = C\Delta T = mc\Delta T \quad (1)$$

donde C es la *capacidad calorífica* de la sustancia, definida como la cantidad de calor que es preciso entregar a un cuerpo para variar su temperatura en un grado Celsius. El *calor específico* c es la capacidad calorífica por unidad de masa:

$$c = \frac{C}{m} \quad (2)$$

A una presión de 1 atm, el calor específico del agua tiene el valor:

$$c = 1 \text{ cal} / \text{g} \cdot ^\circ \text{C}$$

El calor necesario para conseguir que una cierta masa de una sustancia experimente un cambio de fase, sin cambiar su temperatura, es proporcional a la masa m de la sustancia:

$$Q = mL \quad (3)$$

donde L se denomina calor latente, y su valor depende tanto del tipo de sustancia considerada, como del cambio de fase que esta experimenta. A una presión de 1 atm, el calor latente de vaporización del agua es:

$$L = 539 \text{ cal} / \text{g}$$

De acuerdo a la ecuación (1), el calor necesario para elevar la temperatura de $1 \text{ kg} = 1.000 \text{ g}$ de agua desde 15° hasta 100°C , viene dado por

$$Q_1 = 1.000 \text{ g} \times 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ \text{C}} \times (100^\circ \text{C} - 15^\circ \text{C}) = 85.000 \text{ cal} = 85 \text{ kcal}$$

Para obtener la energía necesaria para transformar 250 gramos de agua íntegramente en vapor, usamos la ecuación (3):

$$Q_2 = 250 \text{ g} \times 539 \text{ cal} / \text{g} = 134.750 \text{ cal} \approx 135 \text{ kcal}$$

que equivale a 1,6 veces el valor de Q_1 .

Jorge Pinochet I.
Licenciado en Física, Universidad Católica de Chile