

# El agua: punto de partida

“Aquel mismo día, 2 de octubre, Phileas Fogg había despedido a su mayordomo, James Foster, por el enorme delito de haberle llevado el agua para afeitarse a 84 grados Fahrenheit en vez de 85...”. La causa del imperdonable error del mayordomo de Fogg no queda clara en las páginas de la novela *La vuelta al mundo en 80 días*, de Julio Verne, sin embargo, podemos estar casi seguros que todo se debió a un problema de “escaleras” y “peldaños”.

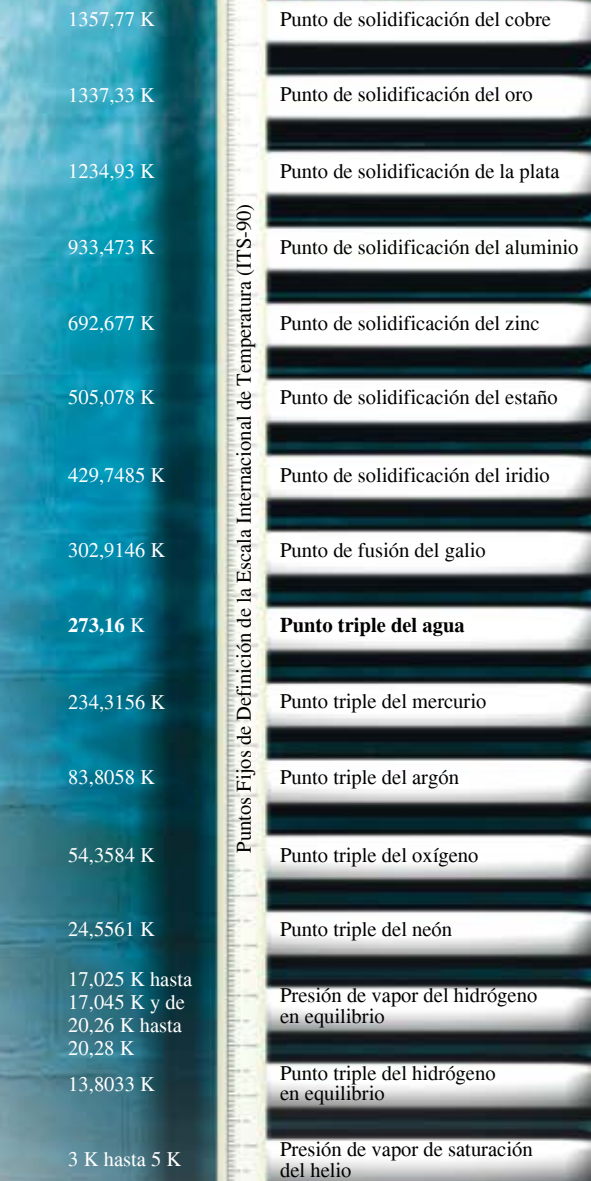
Distinguir la temperatura de un objeto resulta un poco complicado. Podemos saber si algo está caliente o frío, incluso decir si está muy frío o muy caliente, pero es una percepción que varía de persona a persona y resulta muy vaga. Para evitar errores, y ser tan exactos como el mayordomo que Phileas Fogg siempre soñó, necesitamos poder expresar las temperaturas con un número y clasificar estos números en un orden creciente; es decir, necesitamos una escala.

## Agua para medir

Construir una escala se parece mucho a fabricar una escalera: sólo se necesita poner una serie de peldaños en el orden correcto y con la separación necesaria. De hecho, así es como se idearon las escalas que usamos hoy en día para medir la temperatura de los objetos. De allí que usemos la palabra grado, que en latín significa peldaño o escalón. Para medir la temperatura de manera confiable es necesario tener la referencia de algún cambio que pueda ser medido. Fue Galileo Galilei el primero en aprovechar la dilatación de los materiales con el calor y su contracción con el frío para construir un instrumento que, de alguna manera, hiciera visibles los cambios en la temperatura. Un día de 1603, Galileo calentó el aire dentro de un tubo y lo puso boca abajo sobre un plato con agua. Al disminuir la temperatura dentro del tubo y con ella el volumen que ocupaba el aire, el agua subió, ¡y allí estaba un cambio que podía medirse!

También descubrió que si variaba la temperatura de la habitación donde se encontraba el tubo, igualmente lo hacía el nivel de agua dentro del tubo y de este modo el científico italiano consiguió construir un termoscopio (del griego *thermes* = calor y *scopio* = observar). Años más tarde, el científico alemán Daniel Gabriel Fahrenheit incorporó al tubo una escala graduada (la escala Fahrenheit) que permitía expresar la temperatura con un valor numérico y el mundo conoció el primer termómetro.

Para poner los peldaños en una escalera, es necesario “clavarlos” para que no se muevan. En una escala de medición es igual: los valores se “clavan” estableciendo una relación directa con algún fenómeno de la naturaleza que después puede repetirse de la misma manera. Fahrenheit decidió poner el 0 de su escala en la temperatura de la sustancia más fría que logró obtener en su laboratorio



(hielo con sal). No obstante, fue a la mitad del siglo XVIII cuando el físico y astrónomo sueco Anders Celsius ideó “clavar” los escalones de su escala, usando los fenómenos térmicos más evidentes y comunes de la naturaleza: los cambios de estado del agua. Asignó el valor 0 a la temperatura de ebullición y 100 al de la descongelación, definiéndolos como puntos fijos de referencia, y después dividió el espacio intermedio en 100 escalones. Tres años después, su compatriota Carl von Linné invertiría la escala propuesta por Celsius para darle la forma que hoy conocemos, es decir 0 °C para el punto del hielo y 100 °C para el punto de ebullición del agua. Debido a su conveniencia,

Ilustraciones: Alberto Parra del Riego

la escala Celsius resultó una de las más difundidas y utilizadas para la observación de la temperatura y el análisis de fenómenos térmicos y lo sigue siendo hasta la actualidad.

## Clavar escalones

Con el paso del tiempo resultó que los “peldaños” de la escala Celsius no estaban tan fijos como pensábamos. Factores como la presión atmosférica y las sales disueltas en el agua pueden modificar sensiblemente las temperaturas a las que el agua se congela o hierve. Al buscar una mejor escala, el físico William Thomson (Lord Kelvin) propuso a finales del siglo XIX una nueva escala de temperatura. Lo sorprendente de esta propuesta es que, por medio de cálculos matemáticos y experimentos con gases, Lord Kelvin dedujo la existencia de un punto en el que las moléculas y átomos de un sistema tienen la mínima energía térmica posible. Encontró que esta temperatura sería de  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y allí fijó el cero absoluto a la que llamó escala absoluta de temperatura. Además del cero, para poder construir su nueva escala Lord Kelvin necesitaba otro punto de referencia y nuevamente lo encontró en el agua. Se trata del punto triple del agua, un fenómeno en el que, bajo una única combinación de presión y temperatura, es posible tener al mismo tiempo los tres estados o fases del agua: hielo, agua y vapor.

Gracias a su exactitud y la facilidad con que se puede realizar, la escala propuesta por Lord Kelvin da origen a la llamada escala termodinámica de temperatura. A su vez, la unidad de esta escala (K) es una de las unidades básicas del Sistema Internacional de Unidades.

En México, los encargados de mantener “clavados” los peldaños de la escala de temperatura son los miembros del grupo de termometría del Centro Nacional de Metrología (Cenam), encabezados por el doctor Edgar Méndez Lango. En su laboratorio no hay clavos ni martillos, sino una extensa colección de botellas llenas de agua llamadas celdas del punto triple del agua. “La celda es un envase sellado dentro del cual tenemos una cantidad de agua extremadamente pura, es decir  $\text{H}_2\text{O}$  y solo eso”, explica Méndez Lango.

Para obtener nuestro punto de referencia, necesitamos que en la celda se formen las tres fases del agua: la sólida, la líquida y el vapor. ¿Imposible? “En realidad no”, aclara el especialista. “Sabemos que para obtener hielo hay que meter un recipiente con agua al congelador y ¡listo!, ¡ya tengo hielo! Si el congelador está demasiado frío, toda el agua se hará hielo. Con un poco de práctica puedo mover el control del congelador hasta encontrar una temperatura en la que coexistan en equilibrio el líquido y el sólido”. Para conseguir el vapor, el especialista explica que a menor presión, menor es la temperatura de ebullición. Así que comenzamos a bajar la presión de nuestra agua con hielo. Al cabo de cierto tiempo veremos que poco a poco el agua empieza a burbujear, pero también que la cantidad de hielo en la botella aumenta. Para obtener

el punto triple es necesario que las cantidades de agua, hielo y vapor permanezcan sin cambio, así que probamos hasta encontrar una presión y una temperatura en la que el agua hierva, sin que la cantidad de hielo aumente. De esta manera, controlando presión y temperatura, podemos obtener las tres fases en equilibrio.

El punto triple del agua solo se produce en la celda a  $273,16\text{ K}$  ( $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Así que, si introducimos en dicha celda un termómetro, solo debe marcar ese valor. Si el termómetro muestra otro valor, entonces sabremos que tiene un error y podremos hacer los ajustes para corregir futuras mediciones.

Actualmente, además de la referencia al punto triple del agua, la escala de temperatura cuenta con otros 15 puntos fijos. Así se “clavan” en total 16 “peldaños”. Al vincular estas temperaturas con los puntos triples de gases como el oxígeno, el hidrógeno y los puntos de solidificación de metales como la plata, el oro o el cobre, podemos asegurar las mediciones de un termómetro para diferentes rangos de temperatura.

Si el día de hoy Phileas Fogg saliera a recorrer Latinoamérica, no tendría que preocuparse por la temperatura del agua para afeitarse. Su mayordomo podría calibrar un termómetro en alguno de los diferentes institutos nacionales de metrología existentes en esta parte del mundo. El trabajo de estos institutos es, justamente, asegurar que las mediciones realizadas en cada país sean correctas y confiables. De esta manera, a lo largo de todo su viaje, cada mañana Fogg tendría en el baño un balde con agua a unos exactos y vaporosos  $29,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $85\text{ grados Fahrenheit}^1$ ).

DANIEL DE LA TORRE (MÉXICO)

### Celdas del punto triple del agua



<sup>1</sup>La unidad grado Fahrenheit no pertenece al Sistema Internacional de Unidades