

## Un frasco muy inteligente

¿Ha escuchado hablar alguna vez del frasco de Dewar? Imagino que este nombre no le resulta familiar. Sin embargo, son tantas las razones que usted tiene para estar agradecido de este extraordinario frasco, que de seguro el señor Dewar se sentiría muy defraudado si supiera que usted desconoce su nombre. Permítame decirle que gracias al frasco ideado por sir James Dewar (1842-1923) usted puede mantener caliente durante muchas horas el agua recién hervida, y así disfrutar de un agradable café o un té durante una fría mañana de invierno. También puede conservar bien helado un refresco o una limonada para saciar su sed mientras goza de la playa y el Sol. Incluso usted, devoto padre de familia, puede llegar muy tarde en la noche después de su trabajo, y encontrar su cena caliente y lista para servirla, porque su esposa se ha preocupado de guardarla dentro de un frasco de Dewar. Podría citar muchos otros ejemplos, pero no quisiera continuar alimentando sus sentimientos de culpa por no recordar al buen señor Dewar.

Como seguramente ya habrá adivinado, el frasco ideado por Sir James Dewar no es otra cosa que un termo, nombre popular con que se conoce a este versátil invento. Créame que no exagero cuando afirmo que el termo es una invención extraordinaria. Es más, si mis conocimientos de física fueran más rudimentarios, me sentiría tentado a pensar que sir James Dewar dotó de inteligencia propia a su frasco. ¿Cómo hace el termo para mantener calientes los líquidos calientes y conservar fríos los líquidos fríos? Si usted es un iniciado, quizá esta pregunta le cause gracia, pero deseo enfatizar que se trata de una pregunta muy legítima, pues bien podría suceder que el frasco de Dewar calentara los líquidos fríos o enfriara los calientes.

Antes que la noción de calor fuese comprendida adecuadamente por los hombres de ciencia, estos solían imaginarlo como un fluido que se transfería desde los cuerpos más calientes hacia los más fríos, y aunque aquella noción ha sido desechada hace más de un siglo, soy de aquellos que la consideran sumamente útil desde un punto de vista pedagógico, pues nos permite tener una aproximación intuitiva al concepto de calor. Desde esta perspectiva, podemos imaginar el calor como un líquido que fluye en una sola dirección. Y tal como los líquidos siempre se desplazan desde regiones de mayor altura hasta otras de menor altura, el calor fluye siempre desde los cuerpos más calientes hacia los más fríos. En otras palabras, el cuerpo más caliente cederá calor al más frío, de tal manera que este último disminuirá su temperatura y el cuerpo más frío la aumentará. Sin embargo, después de transcurrido un cierto intervalo de tiempo, las temperaturas de ambos cuerpos se igualan, y la transferencia neta de calor se detiene por completo. Cuando ello ocurre, decimos que los cuerpos se encuentran en *equilibrio térmico*. Ahora bien, siguiendo con la idea del calor como un fluido, es fácil constatar que el termo actúa como una suerte de represa que detiene el flujo de calor. Vale decir, si el contenido del termo se encuentra más caliente que el medio circundante, el calor no podrá escapar hacia el exterior; de forma análoga, si el contenido está más frío que el entorno, el calor proveniente desde fuera no podrá traspasar las paredes del termo. Por lo tanto, las paredes del frasco de Dewar actúan como un aislante térmico, impidiendo el flujo de calor en ambas direcciones.

Ahora demos un paso adelante e intentemos definir el calor de manera más rigurosa. Los textos de física elemental definen generalmente el calor como aquella forma de energía que se transfiere entre un cuerpo y sus alrededores debido a una diferencia de temperatura entre ambos. Cuando hablamos de los alrededores nos referimos simplemente a todo aquello que no forma parte del cuerpo, como el aire que le rodea o algún objeto que se encuentra en sus inmediaciones. Desde otra perspectiva, y

sin ser muy rigurosos, podemos definir el calor como aquella forma de energía que produce un incremento de temperatura en los cuerpos cuando éstos lo absorben, y una disminución de la temperatura cuando lo desprenden. Es importante destacar que en esta última frase está contenida una idea de gran importancia y que generalmente induce a confusión: el calor y la temperatura son nociones distintas, pese a estar íntimamente relacionadas. La primera es una forma de energía en tránsito, mientras que la segunda es un efecto provocado por la absorción o liberación de calor. Por lo tanto, no tiene sentido afirmar que un cuerpo posee calor, pero sí podemos decir que posee una determinada temperatura, puesto que esta última está asociada a la rapidez con la cual se mueven las partículas microscópicas —átomos y moléculas— que conforman un material; en otras palabras, a diferencia del calor, la temperatura es una propiedad intrínseca de los cuerpos. Cuanto mayor es la rapidez promedio de las partículas microscópicas de un material, mayor es su temperatura.

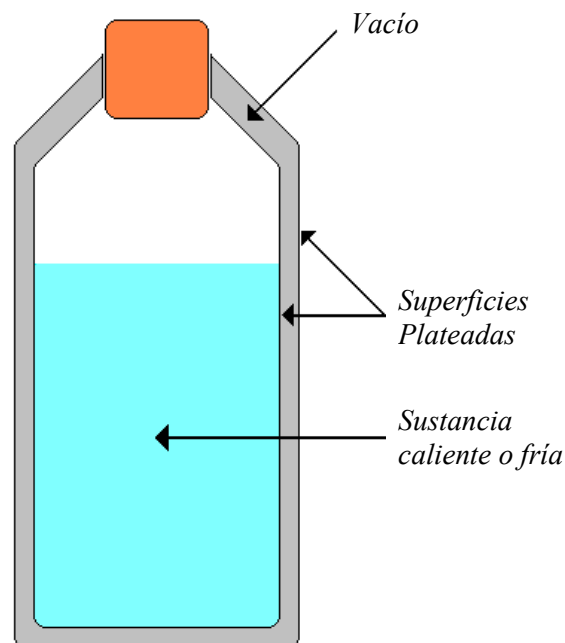
Ahora bien, existen tres mecanismos en virtud de los cuales se traspaasa calor de un cuerpo a otro: conducción, convección y radiación. El primero de ellos es quizá el más familiar. Para ilustrar la forma en que opera este mecanismo, pensemos en lo que sucede a las partículas microscópicas que componen dos cuerpos que son puestos en contacto y cuyas temperaturas iniciales son diferentes. Las partículas rápidas del cuerpo más caliente comienzan a chocar a las partículas lentas del cuerpo más frío en el punto de contacto entre ambos, provocando que las partículas de este último aumenten su rapidez (energía cinética), y este aumento gradual de la rapidez se conduce de partícula en partícula a través del cuerpo frío, desde la zona de contacto hacia las regiones más alejadas. Dicho en otros términos, existe una transferencia de energía entre ambos cuerpos que se manifiesta en un incremento de la rapidez de las partículas microscópicas del objeto que absorbe calor, y en una disminución de la rapidez de las partículas del objeto que desprende calor. Naturalmente, el objeto que cede calor disminuye su temperatura en forma paulatina, mientras el otro objeto la aumenta. También podemos observar la conducción actuando en un sólo cuerpo, por ejemplo, una cuchara metálica; si tomamos con la punta de los dedos un extremo de la cuchara y colocamos el otro extremo sobre la flama de una vela, notaremos cómo se conduce gradualmente el calor a través de la cuchara hasta llegar a nuestros dedos. Naturalmente, llegará un momento en que nuestro espíritu de sacrificio en aras de la ciencia será doblegado, y no tendremos más remedio que soltar la cuchara para no sufrir una severa quemadura.

Hablemos ahora brevemente de la convección. Es probable que usted alguna vez haya puesto sus manos a cierta distancia sobre la flama de una vela. En estas condiciones, el aire que está directamente sobre la flama se calienta y se expande, ascendiendo hacia sus manos. Esta masa de aire caliente que llega hasta sus manos induce un aumento de temperatura en ellas. Se dice que la energía transferida por el movimiento de la sustancia calentada —aire en nuestro ejemplo— se ha transferido por convección. Vale decir, la convección implica transporte de calor por movimiento directo de masas de material caliente.

En lo que respecta al tercer mecanismo de transferencia de calor, debemos decir que todos los cuerpos emiten radiación en la forma de ondas electromagnéticas. Un caso particular de esta clase de ondas lo constituye la luz visible, que corresponde a una región muy estrecha dentro del amplio espectro de las ondas electromagnéticas que abarca, entre otras, a la radiación infrarroja, los rayos ultravioleta, las microondas o los rayos X. Ahora bien, la idea central que debemos retener es que las ondas electromagnéticas transportan energía, y al incidir sobre un determinado material, provocan un aumento de su temperatura. Un claro ejemplo es la sensación de calor

experimentada al aproximar las manos a una ampolleta encendida. Regresando al ejemplo de la vela, si usted coloca sus manos sobre la flama, el aumento de temperatura experimentado por sus manos se debe a la acción combinada de los tres mecanismos de transferencia de calor, aunque el más relevante en este caso resulta ser la convección. Pero si ahora usted pone sus manos por un costado de la vela, a igual distancia de la flama que antes, notará que la sensación de calor en sus manos es considerablemente menor debido a que en este caso la convección no está actuando, y ahora el mecanismo principal de transferencia de calor ha pasado a ser la radiación, esto es, la luz emitida por la flama incide sobre sus manos incrementando su temperatura débilmente.

Imagino que después de leer detenidamente las líneas anteriores, comprenderá que el principio físico que permite al frasco de Dewar aislar térmicamente su contenido consiste en impedir o cuando menos atenuar la acción de los tres mecanismos de transferencia de calor. ¿De qué forma logramos esto? Como una buena ilustración dice más que mil palabras, lo invito a examinar la siguiente figura, donde aparece un termo con sus principales componentes.



*Vista transversal del frasco de Dewar. Las superficies plateadas reflejan la luz, impidiendo que la radiación pueda entrar o salir del frasco. El vacío que existe entre las paredes plateadas impide que la conducción y la convección puedan actuar.*

En el espacio existente entre las superficies plateadas se practica un vacío, vale decir, las moléculas y átomos de aire presentes en esa región son extraídas, de modo que no pueda conducirse calor por colisiones entre partículas microscópicas, ni tampoco puedan producirse movimientos de masas de aire que puedan transportar calor; en otras palabras, el vacío practicado entre las superficies plateadas impide que actúen la conducción y la convección. Por otra parte, las superficies plateadas permiten reflejar las ondas electromagnéticas impidiendo la transferencia de calor por radiación. Cabe señalar que no es posible conseguir un vacío perfecto, ni tampoco se puede disponer de una superficie perfectamente plateada que refleje toda la luz que incide sobre ella. Sin embargo, cuanto más riguroso sea el vacío existente y cuanto más reflectante sea el material depositado sobre cada superficie, mejor será la aislación térmica entre las paredes del termo.

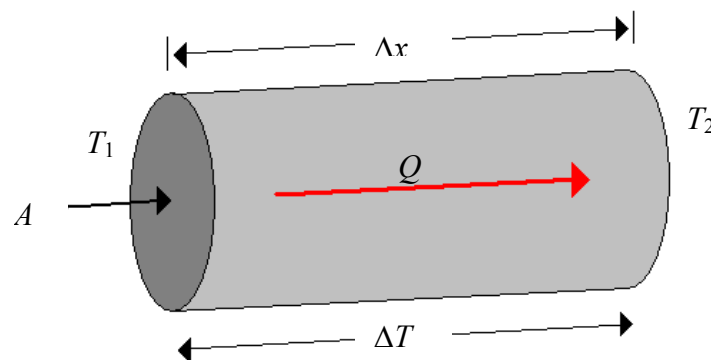
Una vez entendidas las ideas básicas que permitieron a Sir James Dewar idear y fabricar el primer termo, le sugiero que vaya en busca del frasco de Dewar que de seguro tiene en su casa o en su oficina. Si ya lo tiene en sus manos, observe

detenidamente su parte interior para verificar las ideas que estamos discutiendo. Ahora bien, si su bolsillo se lo permite, y los bríos de su espíritu científico son incontenibles, puede romper cuidadosamente su termo para apreciar los detalles de su fabricación. Sólo le pido que no mencione al autor de este artículo, pues no quisiera quedar como alguien que instiga a sus lectores a la destrucción.

Ahora podemos entender por qué el frasco de Dewar mantiene calientes los líquidos calientes y conserva fríos los líquidos fríos, pues su construcción impide o más bien retarda la acción de los tres mecanismos de transferencia de calor. A modo de síntesis podemos decir que si dentro del termo tenemos, por ejemplo, un refresco bien helado, este se mantendrá frío durante muchas horas porque las paredes del frasco de Dewar retardan el flujo de calor entre el medio externo y el refresco. En forma análoga, si colocamos agua recién hervida dentro del termo, esta continuará caliente por largo rato porque el termo retarda el flujo de calor hacia el medio circundante. Vemos, por lo tanto, que el termo sólo aparenta ser inteligente... todo el mérito debemos darlo al buen señor Dewar, cuyo notable ingenio ha hecho que la vida de incontables personas sea un poco más cálida cuando el frío nos acosa, o un poco más fresca cuando el calor nos sofoca.

### ¿Quiere saber más?

Consideremos una barra sólida de sección transversal  $A$  y largo  $\Delta x$ , tal como muestra la siguiente figura. Si mantenemos uno de los extremos de la barra a una temperatura elevada  $T_1$ , y el otro extremo a una temperatura inferior  $T_2$ , el calor  $Q$  fluirá continuamente desde el extremo caliente al extremo frío, en tanto se mantenga la diferencia de temperatura entre ambos.



Si imaginamos el calor como un líquido que fluye de manera uniforme a lo largo de la barra, es fácil concluir que el calor  $\Delta Q$  que atraviesa la sección transversal  $A$  en un intervalo de tiempo  $\Delta t$ , será directamente proporcional a la sección  $A$  y a la diferencia de temperatura  $\Delta T = T_1 - T_2$  entre los extremos de la barra, en tanto que será inversamente proporcional al largo  $\Delta x$ :

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} \propto A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

El símbolo  $\propto$  significa "proporcional a". El cociente  $\Delta Q/\Delta x$  se denomina *corriente térmica*, y generalmente se designa con la letra  $I$ . Esta es la relación que permite

comprender cualitativamente la transferencia de calor por conducción entre los extremos de un material. Si esta relación no le parece intuitiva, imagine lo que sucede con el agua que fluye por un tubo recto de sección  $A$  y largo  $\Delta x$ , debido a una diferencia de presión  $\Delta P$  entre sus extremos. Cuanto mayor sea el área  $A$  del tubo, menor resistencia opone al paso del líquido, y mayor será la corriente de agua. Lo mismo sucede con la presión, que en nuestra analogía representa a la temperatura: cuanto mayor es  $\Delta P$ , mayor es la corriente de agua. Por otra parte, si disminuimos el largo  $\Delta x$ , incrementamos la corriente de agua puesto que un tubo más corto presentará menor resistencia al flujo de líquido.

Ahora bien, si queremos transformar la relación (1) en una igualdad, debemos introducir una constante de proporcionalidad. Dicha constante se designa habitualmente con la letra  $k$  y se denomina *conductividad térmica*. Luego, la corriente térmica  $I$  vendrá dada por la siguiente expresión:

$$I = kA \left| \frac{\Delta T}{\Delta x} \right| \quad (2)$$

donde hemos introducido un valor absoluto para olvidarnos del signo de esta expresión, pues estamos interesados únicamente en el módulo de la corriente térmica. Cabe señalar que (2) es sólo una fórmula aproximada, y para transformarla en una ecuación más precisa, debemos expresar las variaciones de temperatura y longitud en términos de diferenciales.

De acuerdo a la ecuación (2), vemos que  $I$  será tanto mayor cuanto más grande sea la conductividad térmica  $k$ , cuyo valor dependerá del tipo de material que estemos considerando. Por ejemplo, la conductividad de la plata es de  $427 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ , mientras que la del cobre es de  $397 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ . Por otra parte, la conductividad térmica del aire es de  $0,023 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ , en tanto que la del helio es de  $0,138 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ . Generalizando estos resultados podemos concluir que la conductividad térmica de los metales es muy superior a la de los gases, es decir, los metales son muy buenos conductores de calor, mientras que los gases conducen el calor con bastante dificultad.

Otro material interesante es la madera, cuya conductividad térmica es de sólo  $0,08 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ , un valor bastante modesto comparado con la alta conductividad de los metales. De ahí que las ollas y sartenes se construyan de metal, mientras que los mangos suelen fabricarse de madera. Por otra parte, en el mercado de la ropa se confeccionen algunas prendas de invierno, como parkas o plumones, dejando cámaras con aire en su interior, a fin de transformar estas prendas en excelentes aislantes térmicos debido a la baja conductividad del aire.

*Jorge Pinochet I.*

*Licenciado en física, Universidad Católica de Chile*