

hace que la parte superior del líquido suba á un punto fijo  $o$  del tubo termométrico. Cuando la temperatura del mercurio del calorímetro varía, sube ó baja por una causa cualquiera, el nivel avanza ó retrocede en el tubo, pudiéndose estudiar y medir sus movimientos desde alguna distancia, mirando por el antejo  $L$  el tubo y la escala graduada que éste lleva. Favre y Silbermann empezaron por anotar el número de divisiones recorridas por la columna de mercurio por cada caloría cedida al calorímetro ó sustraída de él. Obtenían esta evaluación haciendo hervir un peso de agua conocido, metido en la pipeta  $B$ ; y dando vuelta á la pipeta hasta colocarla en la posición que indica el contorno puntuado de la figura, hacían correr el agua al manguito  $m$ , donde se enfriaba á la temperatura ambiente, cediendo al mercurio un número de calorías fácil de calcular. Dividiendo entonces por este número la desviación total del mercurio en el tubo capilar, obtenían por resultado el número de divisiones correspondientes á una caloría.

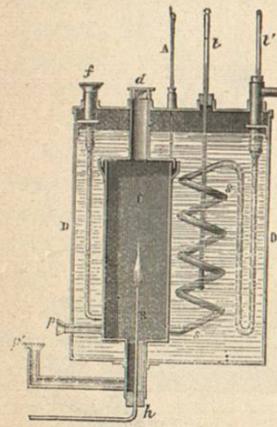


Fig. 614.—Calorímetro de combustión de Dulong

Compréndese ahora de qué modo procedían los operadores para medir un calor latente en vaporización, el desprendido en una combinación química, etc. Introducían en el manguito, por medio de la pipeta, el vapor del líquido caldeado á la ebullición á una temperatura conocida; al condensarse este calor en el manguito, cedía su calor al mercurio, y los grados indicados por la desviación del nivel en el tubo  $L'$  daban á conocer el número de calorías cedidas por un peso dado de vapor condensado. Para medir un calor de combinación, se introducía sucesivamente en el manguito las materias entre las cuales debía efectuarse la reacción.

Durante las operaciones, el calorímetro estaba rodeado de una caja CC llena de algodón en rama que resguardaba todas sus partes de las pérdidas de radiación (1).

La figura 614 representa un calorímetro empleado por Dulong para medir el calor de combustión de un compuesto cualquiera, por ejemplo de un gas. Este llega por el tubo  $h$  á la cámara de combustión  $C$ , y el oxígeno necesario para la combustión por los tubos  $f$  ó  $p'$ . Los productos de la reacción se escapan al salir de la cámara al través de un serpentín metido como ella en el agua fría del calorímetro. Dos termómetros  $t$   $t'$  marcan, el uno la temperatura del agua, y el otro la de los productos de la combustión á su salida del calorímetro, debiendo ser iguales ambas temperaturas si se ha hecho bien el experimento.

Dulong ha visto por este método que el calor desprendido por un gramo de hidrógeno que arde en el oxígeno y que produce agua es igual á 34601 calorías ó 34,601,

(1) En una lección consagrada al análisis de los trabajos de Favre, E. Sainte-Claire Deville apreciaba en estos términos el notable aparato que acabamos de describir: "El calorímetro de mercurio hace las veces de una verdadera balanza que mide la acción del calor por el efecto termométrico comunicado á una gran masa de mercurio. Me he servido de este instrumento, y debo confesar que para manejarle se necesita cierta práctica. Debe funcionar como un aparato que recibe una acción calorífica, sin dejar de permanecer á una temperatura muy inmediata á la exterior, y estando aislado de toda causa perturbadora mediante numerosas y variadas precauciones, á la vez que como un aparato cuyo enfriamiento ó caldeo no son de despreciar, por más que sean suficientemente débiles. Digo que es una balanza porque M. Favre se ha valido de él para estudiar los fenómenos caloríficos apreciándolos en calidad y en cantidad, á la manera que un químico hace un análisis y pesa sucesivamente todos los cuerpos que dosifica."

según que se tome por unidad de caloría el calor necesario para elevar un grado la temperatura de un gramo ó de un kilogramo de agua. Favre y Silbermann han obtenido por resultado 34462. Por lo demás, he aquí algunos resultados conseguidos por estos dos físicos relativamente al calor de combustión de varios cuerpos simples al arder en el oxígeno:

Cuerpos simples ó compuestos	Calor desprendido por 1 gr. de combustible	Cuerpos simples ó compuestos	Calor desprendido por 1 gr. de combustible
Hidrógeno.. . . .	34,462 calorías	Alcohol. . . . .	7,184 calorías
Carbón ordinario. . . .	8,080 —	Esencia de trementina. . . .	10,852 —
Grafito natural. . . . .	7,797 —	Acido esteárico. . . . .	9,616 —
Diamante. . . . .	7,770 —	Eter. . . . .	9,028 —
Azufre nativo. . . . .	2,162 —	Aceite de oliva. . . . .	9,862 —
Sulfuro de carbono. . . .	3,400 —		

El calor desprendido por la combustión no tan sólo depende del combustible (y se ve, por ejemplo, que difiere considerablemente del azufre al hidrógeno), sino que varía en el mismo cuerpo con el gas comburente. Así es que Favre y Silbermann han deducido 23,950 calorías para el calor de combustión del hidrógeno en el cloro. Nos limitamos á tratar muy sucintamente de la calorimetría aplicada al estudio de las reacciones químicas. Los importantes resultados obtenidos por este concepto forman la base de una ciencia nueva, la TERMOQUÍMICA, ajena á la índole de esta obra.

### III

#### INFLUENCIA DEL CALOR LATENTE DEL VAPOR DE AGUA, Y DE LOS CALORES ESPECÍFICOS DEL AGUA Y DEL HIELO EN LOS CLIMAS

De cuantas substancias han estudiado los físicos para determinar sus calores específicos en sus tres estados, así como los calores latentes de liquidez y elasticidad, no hay ninguna que merezca tanta atención como el agua. Es un cuerpo tan universalmente difundido por la Naturaleza, ó á lo menos por la superficie del globo terráqueo, que el papel que desempeña en los fenómenos meteorológicos ha de ser forzosamente muy considerable, ya presente la forma sólida en los climas polares y durante el invierno en las zonas templadas, ya se muestre en forma líquida en los mares, ríos, lagos y nubes, ó ya, por último, en la de gas ó de vapor en la atmósfera. Las variaciones de temperatura y los cambios de estado del agua son el punto de partida ó la causa de porción de cambios que nos afectan y nos interesan por muchos conceptos. Por otra parte, el uso del agua en la vida doméstica y en la industria tiene para nosotros no menor importancia, como así lo veremos cuando tratemos de las aplicaciones del calor y describamos las máquinas cuyo principio motor es la fuerza elástica del vapor de agua. Hemos dicho, en efecto, que la mayor parte de los trabajos que los físicos han emprendido acerca del calor tenían por objeto esta última aplicación; y sobre los resultados de estos mismos trabajos se fundará definitivamente el mayor monumento científico del siglo XIX en el terreno de las ciencias físicas, la teoría mecánica del calor.

Por razones casi análogas desempeñan el airé y su modo de obrar bajo la acción del calor una misión no menos importante que el agua en los fenómenos de la física terrestre.

Recordemos algunas de las cifras relativas á los calores específicos del aire y del agua y á los calores latentes de este último cuerpo. Siendo 1 el calor específico del agua, el del hielo á 0° es 0,513, y el del aire 0,2375. Por otra parte, para fundir un kilogramo de hielo á 0°, es preciso consumir una cantidad de calor igual á 79 calorías próximamente; se necesitan 607 calorías para reducir á vapor un kilogramo de agua á 0°; 592 calorías si el mismo peso está á +15°, y 537 si á +100°.

El agua desprende las mismas cantidades de vapor si el cambio de estado es inverso, es decir, si el kilogramo de agua se transforma en hielo, ó el de vapor en agua líquida.

De estos números retengamos desde luego los que se refieren al agua y al aire. El calor específico del agua equivale á poco más de cuatro veces el del aire; de lo cual se sigue que al enfriarse 1° un peso de agua de 1,000 kilogramos, desprende una cantidad de calor suficiente para elevar asimismo 1° un peso de 4,210 kilogramos de aire. Pero 4,210 kilogramos de aire ocupan, á la presión barométrica normal y á 0°, un volumen que es 770 veces el de un mismo peso de agua, es decir, igual á 3,250 metros cúbicos.

En su obra sobre el *Calor*, se expresa Tyndall del modo siguiente acerca de las consecuencias de este hecho: "Aquí se presenta por sí misma la gran influencia que el Océano debe ejercer como moderador de los climas. El calor del estío se almacena en el Océano, el cual lo va soltando poco á poco en invierno: este es ya un obstáculo para las temperaturas extremas en las islas: en ellas no puede hacer en verano el calor sofocante de los veranos de los continentes, ni los inviernos de las islas pueden ser tan crudos como los de aquellos. En varios puntos del continente de Europa se cogen frutos que nuestros veranos (los de Inglaterra) no pueden sazonar; en cambio allí son desconocidos nuestros árboles siempre verdes, pues no pueden conservar su follaje durante el invierno. El invierno de Irlanda es por regla general más apacible que el de Lombardía."

Sin embargo, al reproducir estas observaciones, que nos parecen justas, no olvidemos que los casos particulares mencionados por Tyndall no dependen únicamente de la proximidad del Océano, sino también de la elevación de la temperatura producida en aquellas regiones por la gran corriente de agua templada conocida con el nombre de Gulf-Stream.

Los vientos ecuatoriales entran también por mucho en los fenómenos meteorológicos en cuestión. Así lo reconoce el sabio físico cuando dice: "Ahora sabemos que el Gulf-Stream y la difusión del calor por los vientos y los vapores son las causas reales de la suavidad del clima europeo." Pero la causa física reside siempre y sobre todo en el gran calor específico del agua comparado con el del aire.

Los lagos desempeñan el mismo cometido que el Océano, aunque en menor extensión; el calor almacenado por el agua suaviza la temperatura de las localidades circunvecinas.

En el mes de diciembre de 1879, el doctor Forel hizo un sondeo en el lago Lehman y vió que la temperatura, que era de 5°,6 á la superficie y de 5°,4 á unos 170 metros de profundidad, había bajado en cinco días á 5°,4 á la superficie, de suerte que el agua del lago se había enfriado en todo este espesor, ó si se quiere, había cedido al aire una cantidad de calor fácil de valuar. Haciendo el cálculo con arreglo á los datos suministrados por los sondeos, el doctor Forel ha visto que la cantidad de calor perdida por el lago durante esos cinco días equivalía á unos 10,000 millones de calorías,

"ó sea, dice, á la cantidad de calor desprendida por la combustión de 1.250,000 toneladas de carbón, ó por la de un cubo de carbón de 100 metros de lado. Como el cielo estuvo generalmente nublado durante los cinco días, la mayor parte de este calor ha quedado en el aire, contribuyendo así á atenuar en nuestro valle el frío que tan crudamente se hacía sentir en otras partes."

El calor latente de fusión del hielo tiene también gran importancia en meteorología. El derretimiento de las nieves y de los hielos durante las estaciones de invierno es efecto de dos causas: la una directa, ó sea el calor que el sol radia; la otra indirecta, es decir, el calor que desprenden las masas de aire caliente conducidas por los vientos que proceden de las regiones ecuatoriales. Ya tendremos ocasión de ver cómo se mide la cantidad de calor emanada de los rayos solares. En cuanto á la del aire, sabemos que su valor medio es menos de la cuarta parte del calor específico del agua; pero como éste sólo equivale á la 79.<sup>a</sup> parte del calor latente de fusión del hielo, es fácil darse cuenta de la masa de aire caliente que se necesita para fundir un peso de hielo ó de nieve á 0°. Un metro cúbico de hielo á 0° pesa 930 kilogramos y para fundirse á 0° necesita  $930 \times 79,25$  calorías. Por otra parte, un metro cúbico de aire á 0° pesa 1kil,293; pero suponiendo este mismo volumen de aire á +15°, temperatura que se atribuye al viento reinante, no pesará más que 1kil,293 dividido por  $1 + at$  ó por  $1 + 0,00367 \times 15 = 1,055$ . Por consiguiente, el número de metros cúbicos de aire necesarios para la fusión de un metro cúbico de hielo será la expresión  $\frac{930 \times 79,25 \times 1,055}{0,2375 \times 15 \times 1,293}$ , si se supone

que el aire mismo esté reducido á la temperatura de cero. El cálculo da 16,900 metros cúbicos próximamente. Si la temperatura del viento que produce la fusión es sólo de 10 y aun de 5 grados, el número de metros cúbicos necesarios será mayor: en una y otra hipótesis resultan 24,880 ó 48,900.

Vese por estas cifras qué enfriamiento debe resultar en la atmósfera de la inmensa cantidad relativa de calor invertida todos los años en la fusión de las nieves ó de los hielos. La radiación solar es, á la verdad, de tal potencia que muy pronto restablece el equilibrio roto por estos cambios de calor entre el aire y el agua y por las variaciones de volumen ó de densidad que suscitan en la masa movable de la envolvente aérea.

Si, según acabamos de ver, las corrientes oceánicas ó aéreas que llegan de las regiones del ecuador á las zonas templadas y polares de cada hemisferio proporcionan á los climas correspondientes bastante calor para suavizar sus rigores, los hielos de los polos van á templar, por un procedimiento inverso, el extraordinario calor de la zona tórrida.

Verdad es, según después veremos, que ciertas corrientes de sentidos opuestos existentes en el seno de los mares y del aire contribuyen á este resultado; pero aquí tan sólo consideramos el descenso de la temperatura procedente de la fusión del hielo. Sábese en efecto que, al regresar el sol cada primavera, los glaciares y los campos de hielo de los polos sufren un deshielo que desprende de ellos masas considerables. Las islas flotantes llamadas *icebergs* van á parar, arrastradas por las corrientes, á las regiones cálidas del Atlántico y del Pacífico, donde acaban por derretirse poco á poco, aunque no sin absorber para ello una gran cantidad de calor, sacado forzosamente en su mayor parte de las masas líquidas de dichos mares. Las dimensiones de estas moles de hielo llegan á veces á centenares de metros en todos sentidos, y sus volúmenes á muchos millones de metros cúbicos. La fusión de uno de ellos exige, pues, un consumo de calor que puede representarse por millares de millones de calorías.