

lerías, en las fábricas de productos químicos, etc., en una palabra, en todas las operaciones que requieren una temperatura elevada. En un número siempre creciente de talleres y manufacturas, el calor empleado como generador de fuerza motriz ó de trabajo mecánico tiende á reemplazar las fuerzas utilizadas hasta entonces, muy poco regulares ó demasiado costosas, aumentando así en proporción considerable la suma de trabajo que el hombre podría sacar de sus brazos; merced al calor se ha centuplicado la actividad de la gran industria de los transportes por tierra y por mar, que anima los innumerables hogares de las locomotoras y de los buques de vapor, y gracias á él también ruedan los trenes noche y día por las barras de las vías férreas, ó los vapores surcan las aguas del océano.

Los vegetales actuales no hubieran podido bastar para alimentar todos esos focos de calor, para atender á ese asombroso consumo de combustible, y nadie ignora que, gracias á las reservas acumuladas de las vegetaciones de las edades primitivas, ha podido aumentar y aumenta de continuo semejante consumo. Quizás llegue un día, más cercano de lo que se cree, en que, agotadas las hulleras, tenga el hombre que buscar un nuevo manantial de calor, so pena de ver disminuir progresivamente hasta extinguirse la producción industrial y con ella la civilización en sus condiciones actuales de existencia. En todo caso, esta perspectiva basta para atestiguar la gran importancia que para nuestra especie tiene el conocimiento riguroso, profundo, de las leyes á que obedecen los fenómenos del calor, conocimiento que tal vez nos revele un día nuevos medios de producir tan precioso agente.

## IV

## EL CALOR Y EL FRÍO. — LAS DIFERENCIAS DE TEMPERATURA

La impresión que el calor causa en nuestros órganos es, como la de la luz, un fenómeno puramente subjetivo, que no nos enseña nada acerca de la naturaleza del agente físico puesto en actividad. La opinión que de un cuerpo nos formamos cuando decimos que está *caliente ó frío* es también relativa y depende, conforme lo demuestra la experiencia, así de la disposición particular de nuestros órganos como del estado del cuerpo mismo, pudiendo suceder por otra parte que no nos produzca, desde el punto de vista del calor, ninguna sensación, en una palabra, que no nos parezca frío ni caliente.

Cuando tocamos este mismo cuerpo en distintos momentos, puede producirnos sensaciones diferentes y aun opuestas, ya porque en el intervalo de uno á otro se haya enfriado ó calentado en realidad, ó bien porque nuestros órganos hayan experimentado á su vez modificaciones análogas, ó ya también porque las dos causas de que tratamos hayan contribuído simultáneamente á esta diferencia de impresiones. Fácil le es á cualquiera encontrar ejemplos de la influencia de ambas causas, y cualquiera comprenderá asimismo cuán difícil sería apreciar las variaciones de calor en los cuerpos, si sólo se tuviera por base de esta apreciación las sensaciones puramente personales producidas inmediata ó mediatamente. Supongamos, por ejemplo, que hemos tenido algún tiempo la mano derecha metida en una vasija de agua fría, y la izquierda en otra de agua caliente, y que luego introducimos las dos á la vez en otra vasija llena de agua tibia; experimentaremos simultáneamente dos sensaciones opuestas, una de calor y otra de frío, y sin embargo, ambas proceden del mismo cuerpo y en el mismo estado.

Otro ejemplo de la dificultad que indicamos: el aire exterior nos parece frío si salimos de una habitación abrigada; por el contrario, el mismo aire nos parece caliente cuando salimos de una cueva fresca. ¿Quién no se habrá quejado de sentir un calor sofocante al entrar en un aposento caliente cuando fuera está helando? Y sin embargo, si en la estación de los grandes calores llega á enfriarse el aire súbitamente, pero sin bajar del grado que nos parecía insoportable seis meses antes, nos hace tiritar la misma temperatura que entonces nos parecía excesiva. Y es que nuestros órganos, acostumbrados progresivamente al frío ó al calor, con dificultad se habitúan á las bruscas transiciones que ocasionan en ellos sensaciones mucho más vivas.

Por último, los cuerpos de naturaleza diferente, situados en un recinto mantenido á una temperatura constante, adquieren al cabo de algún tiempo, según veremos, la misma temperatura; físicamente hablando, son igualmente fríos ó calientes, como se quiera. Sin embargo, si los unos son objetos de metal, de mármol, de vidrio, y los otros de madera, de lana ó de papel, sentiremos al tocarlos sucesivamente impresiones muy distintas: el mármol y el hierro nos parecerán fríos, la lana caliente, y la madera y el papel ni lo uno ni lo otro. En una palabra, la sensación variará con la naturaleza del cuerpo y el estado de su superficie. Por espacio de mucho tiempo se han desconocido estas nociones sobre la relatividad de las sensaciones de calor y frío, que hoy nos son familiares. Sin necesidad de referirnos á los antiguos que, oponiendo el calor al frío como elementos contrarios, consideraban el segundo como "una cualidad ó accidente que reúne y junta indiferentemente las cosas homogéneas y las heterogéneas, al paso que el carácter distintivo del calor consiste en reunir aquéllas y en desunir éstas," sin remontarnos á los antiguos, decimos, vemos también á los sabios del siglo xvii, como Gassendi, participar de las ideas de Epicuro y de Lucrecio, distinguiendo el frío del calor como propiedades de corpúsculos especiales. Para ellos los átomos frigoríficos diferían de los ígneos en naturaleza y configuración. Hasta el siglo pasado no se llegó á formar esa idea del calor y del frío que hoy nos parece tan sencilla, á saber, que son fenómenos de la misma naturaleza, diferentes grados de manifestación de un mismo agente físico, y que la oposición aparente de su modo de acción depende enteramente de la temperatura de nuestro cuerpo y de su sensibilidad.

Insistimos en estas consideraciones porque nos permitirán comprender en qué consiste que por espacio de tanto tiempo se hayan ignorado las leyes de unos fenómenos que se pueden observar continuamente. Mientras nos hemos fiado de los sentidos para apreciar los grados de calor, sin cuidarnos de inventar instrumentos para compararlos, para medirlos, sólo se han podido tener vagas nociones sobre las leyes que los rigen. Verdad es que ha sucedido otro tanto con respecto á todos los hechos físicos ó naturales.

Casi no disponemos más que del *tacto* como sentido propio para la temperatura; pero si permite juzgar con precisión de las diferencias, parece que no es así relativamente á los grados absolutos de aquélla. Además, esta especie de sensibilidad debe de ser sumamente variable de una persona á otra, conforme podemos advertirlo observando en torno nuestro. La facultad que tiene la piel de apreciar las diferencias de temperatura ha sido objeto de experimentos interesantes por parte de Weber, el cual ha visto que con el dedo se pueden distinguir diferencias de  $\frac{1}{4}$  de grado centígrado, mientras que la apreciación de la temperatura absoluta, que exige indudablemente un estudio previo, no es exacta sino con 2 ó 3 grados de diferencia. Esta sensibilidad es casi la misma para todas las temperaturas inferiores á 37°, es decir, á la de nuestra sangre,

pero dista mucho de ser tan grande para todas las regiones de la piel. Así es que el dorso de la mano es más sensible al calor que la palma, y lo son mucho más los párpados, los labios y la lengua.

También se dice que el codo posee una sensibilidad especial por este concepto, debida sin duda más bien á la delgadez de la piel que á la falta de grasa en dicha región. Las madres conocen esta particularidad, la cual aprovechan cuando quieren bañar á sus hijos, pues entonces meten el codo en el agua del baño como pudieran hacerlo con un termómetro. Refiriéndose Berstein al caso que acabamos de mencionar, añade:

“Debemos admitir también que hay en la piel órganos particulares de temperatura, órganos que tienen sus nervios propios y que en unas regiones están más desarrollados que en otras. Y en efecto, se ha probado que los troncos nerviosos no poseen la facultad de producir la sensación de calor cuando se los calienta directamente. Por ejemplo, en la región del codo, inmediatamente debajo de la piel y sobre el hueso hay un nervio que ocasiona vivos dolores cuando recibe un golpe. Cuando se introduce el codo en agua caliente, sólo se siente el calor en la parte sumergida y no en todo el brazo, aun cuando dicho nervio corre por el antebrazo hasta la mano. Así pues, el calor del agua excita el tronco nervioso, siquiera esta excitación no se da á conocer por una sensación de calor, sino por el dolor. Cuando se mete el codo en agua helada, el dolor es absolutamente el mismo, de donde resulta que los troncos nerviosos son incapaces de sentir calor ó frío. La sensación de dolor que resulta en este caso es probablemente la causa de la sensibilidad extraordinaria que produce en el codo un calor demasiado fuerte, y por tanto nocivo.

„Puede, pues, presumirse que los nervios tienen en la piel órganos especiales de temperatura capaces de producir una excitación nerviosa por la influencia del calor. Pero hasta ahora no se han descubierto órganos de esta clase, ó mejor dicho, no se ha podido atribuir esta función á órganos conocidos. Los corpúsculos táctiles quizás sirven al propio tiempo para la función del tacto y para la sensación del calor, mas no se puede asegurar nada con respecto á este punto. Weber ha descubierto un hecho muy interesante y es que los cuerpos calientes parecen más ligeros que los fríos. Cuando se pone sobre la frente de una persona que tenga los ojos cerrados una moneda de 5 pesetas fría y luego otras dos calientes, éstas parecerán tener el mismo peso que aquella sola, y sin embargo la persona en cuestión podrá distinguir muy bien la diferencia entre el peso de los cuerpos fríos. Parece, pues, que existe una relación entre el sentido de la temperatura y el del tacto, pero hasta ahora no se ha estudiado científicamente esta relación.”

## V

### PRINCIPALES EFECTOS DEL CALOR. — DIVISIONES DE LA CIENCIA

Por fortuna se han podido completar las indicaciones tan poco exactas que nuestros sentidos pueden proporcionarnos sobre el grado de calor de los cuerpos, con instrumentos cuya construcción y graduación están basadas en los efectos producidos en aquéllos por las variaciones mismas del calor. Estos efectos, estudiados de un modo puramente objetivo, independiente de toda apreciación personal, son por una parte los *cambios de volumen*, y por otra los *cambios de estado*.

La *dilatación* de los sólidos, de los líquidos y de los gases por la influencia de un aumento de calor, el fenómeno inverso de la *contracción* que caracteriza una disminución de calor y devuelve al cuerpo el volumen que tenía en las condiciones idénticas, son un fenómeno general y constante que servirá de asunto para los primeros capítulos consagrados á los fenómenos caloríficos. Hemos dicho ya en el primer tomo, al resumir las propiedades generales de los cuerpos, que la ley de continuidad que enlaza el aumento de volumen con el de la temperatura, está sujeta á dos interrupciones bruscas que corresponden á los dos pasos del estado sólido al líquido y de éste al de vapor ó de gas. Los puntos críticos de que hablamos sufren, además de la influencia del calor, la de la presión; pero, á igualdad de condiciones de presión y de temperatura, los *cambios de estado*, en un sentido ó en otro inverso, ofrecen asimismo al físico un término fijo de comparación, un punto de referencia precioso, que utiliza especialmente para la graduación de sus aparatos de medición.

A continuación de los cambios de volumen, describiremos en esta primera parte los de estado.

Los cuerpos no se calientan ni enfrían sino comunicándose mutuamente el calor de que están dotados, ora mediante el contacto de sus moléculas, ora á mayor ó menor distancia, es decir, emitiendo hacia fuera su calor, del propio modo que los focos luminosos radian su luz en todas direcciones. Este doble modo de propagación del calor da lugar á dos series de fenómenos cuyas leyes estudiaremos separadamente en los capítulos consagrados al calor *radiante* y á la *conductibilidad*.

Seguirá después la parte de la ciencia del Calor que puede considerarse como la más importante, si fuese permitido establecer grados por este concepto, y si todas las leyes físicas relativas á una misma clase de fenómenos no concurriesen por igual al último resultado, ó sea al establecimiento de una teoría general. Nos referimos á los medios merced á los cuales se mide, no tan sólo el grado, sino también la cantidad de calor necesaria para obtener un efecto determinado en un cuerpo de peso y temperatura dadas. Esta parte es la *calorimetría*.

Después de haber perfeccionado los métodos calorimétricos y acumulado los datos exactos que se han podido calcular gracias á estos métodos, se ha abordado por fin de un modo provechoso el gran problema del calor, y demostrado que no es una substancia propia, sino un modo de movimiento, una vibración de las moléculas de los cuerpos, que se comunica al éter y se propaga con la misma velocidad que la luz. Los rayos de calor ó los rayos de luz, ó más rigurosamente hablando, las ondulaciones luminosas y las caloríficas son movimientos idénticos, que sólo difieren por su modo de obrar en nuestros órganos, produciendo aquí una sensación de luz y allí otra de calor. Con la exposición de esta teoría del calor, con las nociones más elementales de la *termodinámica*, terminaremos esta primera parte, dejando para la segunda todo cuanto se refiere á la aplicación de los fenómenos y de las leyes á las ciencias ó á las artes industriales.

En resumen, nuestro estudio de los fenómenos y de las leyes del Calor comprenderá cinco divisiones principales: los *cambios de volumen*, los *cambios de estado*, la *propagación del calor* por radiación ó por conductibilidad, la *calorimetría* y la *termodinámica*. Estas son también las grandes divisiones de la ciencia, estando comprendidos en alguna de dichas categorías todos los hechos que la observación y la práctica han permitido comprobar hasta ahora.

Esto sentado, entremos en materia.