

cantidad equivalente de calor que producirá, por ejemplo, una evaporación mayor; preparará una lluvia que podrá ser una nueva fuente de energía mecánica. Pero no será necesariamente el molinero el que se aproveche de ella.

CAPITULO VII

EL LUGAR DEL CALOR EN LOS FENÓMENOS NATURALES

§ 31.—AFLUENCIAS SIN TRANSFORMACIÓN.

Ningún transformador da un rendimiento perfecto; particularmente, hay siempre desperdicio bajo forma de calor, aunque sea la energía motora el calor. Una piedra que cae se calienta y calienta el cuerpo sobre que choca; una corriente eléctrica no puede atravesar un conductor sin elevar su temperatura: una reacción química no se producirá nunca sin desprendimiento de calor. No sabemos producir trabajo sin producir calor y, recíprocamente, no podemos nunca transformar por completo todo calor en trabajo. En una máquina á vapor, una parte del calor se pierde siempre por conductibilidad é irradiación. En todo fenómeno, cualquiera que sea, hay siempre una cierta cantidad de energía que, irreductiblemente, se transforma en calor. Además, el calor que no se transforma no puede sufrir naturalmente más que un descenso de temperatura. Compréndese, pues, en general, que el

mundo se enfría; y se enfriará más pronto si ninguna transformación produce calor de nuevo. Pero toda transformación calienta al transformador. ¿Qué es, pues, ese calor que ocupa un lugar tan privilegiado entre las demás formas de energía?

El gran mérito de Carnot fué comprender el peligro del lenguaje corriente que habla del calor como del agua ó de otra substancia cualquiera separable del recipiente que la contiene. No hay calor; lo que existe son cuerpos más ó menos cálidos, y las variaciones de las cantidades de calor en ellos están de tal modo ligadas al estado íntimo de los mismos que los contraen ó los dilatan en todas sus partes, produciendo así fatalmente un trabajo mecánico que no se puede muchas veces utilizar.

Hay calor en todos los cuerpos desde el momento que es posible encontrar cuerpos más fríos que otros; la nieve es cálida comparada con el ácido carbónico líquido; y sin embargo—y ésta es una de las formas pintorescas que se ha dado al principio de Carnot—con una cantidad enorme de bolas de nieve no se puede calentar un horno. Pero hay que especificar bien que eso es imposible cuando se consideran sólo los fenómenos térmicos.

Un transformador, un motor de ácido carbónico puede funcionar, en efecto, entre 0° y -30° ,

tomando su calor de bolas de nieve que desmenuarán, en este caso, el papel de una fuente de calor, y ese motor puede mover una dínamo que enrojecerá y hasta fundirá un hilo de platino. Igualmente, si el agua no sube de modo natural las pendientes, un molino situado en Chamounix puede hacer por la adición de una dínamo que, por un hilo conductor, funcione una bomba colocada en el observatorio del Monte Blanco.

El principio de Carnot indica solamente el sentido de las afluencias de energía sin transformación. Desde el momento en que hay transformadores, no se sabe nada. Ahora bien: independientemente de los transformadores industriales que el genio del hombre ha creado—y ésta es la obra principalmente práctica del siglo XIX,—la naturaleza está llena de ellos; no hay afluencias de energía sin transformación parcial; y en toda transformación prodúcese calor destinado á enfriarse naturalmente; hay pérdidas que hacen, como veremos en seguida, que el mundo, en su incesante evolución, no retroceda.

§ 32.—LA DEVOLUCIÓN.

Hay la costumbre de comparar á movimientos las actividades físicas. Entre aquéllos los hay que observamos con nuestra vista, y esos

son los movimientos propiamente dichos ó mecánicos. Otros, de una menor amplitud, nos impresionan los oídos y los llamamos *sonidos*. Otros, más pequeños todavía, tradúcese en nuestro sistema sensorial por impresiones de calor, etc. En los fenómenos químicos no hay, además, sino movimientos intermoleculares que ningún instrumento nos permite distinguir todavía. A todos esos movimientos de dimensión diferente se asocian siempre fenómenos térmicos. Una parte de la energía empleada se transforma siempre, también, en energía calórica. Es menester, pues, que los movimientos térmicos ocupen una posición intermedia en la escala de los movimientos conocidos por el hombre; y sería útil observar, antes de estudiarla, el sentido de la evolución del mundo.

Si se ha podido dar al principio de Carnot el nombre de principio de evolución es porque para cada forma de energía, considerada sola, indica el sentido en que un fenómeno debe producirse, en que un sistema debe evolucionar fatalmente. Tal estado de un conjunto completo de cuerpos puede producir tal otro estado del mismo conjunto y no apartarse de él. Un fenómeno, que es la consecuencia de otro fenómeno, no podrá ser su causa; y, sin embargo, en un conjunto completo de cuerpos, es decir, en un conjunto que no toma nada ó que no cede nada al

exterior, si un fenómeno cualquiera acaece, puede asegurarse que no ha habido pérdida de materia ni pérdida de energía; las cantidades de materia y de energía finales son equivalentes á las cantidades de materia y de energía iniciales; pero el estado final difiere del inicial en que ha sido una consecuencia de éste y no ha podido ser el punto de partida. El mundo camina en cierto sentido y no retrocede; no hay una evolución retrógrada.

El cinematógrafo pone ante nuestros ojos la ilusión de la vuelta hacia atrás. Tomo las vistas sucesivas de un acto familiar; cinematografío un hombre que, de pie en un cuarto de baño, se sumerge de cabeza. En lugar de enrollar después la serie de vistas fotográficas en el orden en que han sido tomadas, las enrolló en el carrete invirtiendo el orden de los clichés; el espectador verá primero un baño tranquilo del que saldrá bruscamente, por los pies, un personaje inverosímil que describirá una graciosa parábola, yendo á caer de pies sobre la orilla.

Los cinematógrafos Lumière nos ofrecen esas escenas al revés; jinetes caídos montan sobre el caballo, describiendo en el aire la curva inversa de su caída, produciendo ese espectáculo las carcajadas de las personas mayores y el terror de los chicos. No hay, en efecto, milagro

más impresionante que el mundo tornando atrás, remontando el tiempo su curso normal.

Evidentemente no es imposible á un hombre que se ha sumergido en el agua salir á la orilla, ni á un jinete que ha caído montar de nuevo; pero los movimientos que ha efectuado para montar otra vez son diferentes de los que le han acompañado en la caída; no hay evolución retrógrada. Del mismo modo un salto de agua puede, actuando sobre una bomba, subir el líquido de un nivel inferior á otro superior, pero no produce una caída al revés; la vista de una caída al revés figurada en un cinematógrafo nos parecería maravillosa y absurda. Hay, sin embargo, un caso en que un mismo fenómeno parece repetirse en sentido inverso; es el caso del movimiento oscilatorio.

Suspendido de un hilo colgado del techo, separado de su posición de equilibrio y entregado á sí mismo, un peso comienza á descender, comprobando nuestro principio general de evolución; al llegar al punto inferior de su carrera adquiere una cierta velocidad que, gracias á la energía antes empleada, le permite subir casi á la misma altura de donde partió. Al llegar allí rehace el mismo camino en sentido inverso, comenzando entonces por descender, y así continúa. Salvo que no remonta completamente hasta el punto de que partió (pues su movi-

miento sería eterno, y hay siempre un desperdicio de energía), el peso parece repasar en sentido inverso exactamente por todos los estados en que se encontró durante su primer viaje. Si se cinematografía la primera mitad de la oscilación, el cinematógrafo nos hará ver al revés la imagen de la segunda mitad; pero eso no será más que una ilusión.

En cada punto del viaje de vuelta, las velocidades tienen un sentido inverso á las del viaje de ida. Únicamente nosotros no vemos las velocidades y observamos sólo los movimientos; y lo que hay precisamente de absurdo en el cinematógrafo al revés, es que nos hace ver los puntos matemáticos que se mueven en sentido inverso de la velocidad que les anima en la realidad. Así, cuando creemos haber reproducido una vuelta hacia atrás, hemos descuidado un factor esencial: la velocidad de los móviles considerados.

Si nuestro ojo no es sensible á las velocidades, lo es en cambio nuestro oído. Un cinematógrafo al revés, muéstranos en su apariencia invertido el fenómeno proyectado en la pantalla, reconocemos la sumersión del nadador ó la caída del jinete. Al contrario, dando al revés al manubrio de un organillo, no reconoceremos el aire familiar del *Trovador*: la serie de sonidos que oímos es otra cosa distinta, no es el aire del

Trovador, invertido. Y es que, en un aire músico, nuestro oído registra no sólo las notas sucesivas, sino el paso de cada una de ellas á la siguiente, lo que corresponde á la velocidad de un movimiento observado con la vista; en el aire que toca el organillo al revés hay, sí, la sucesión de notas en sentido inverso, pero con los pasos de cada una á la siguiente que no son los mismos. Así que no podemos reconocer nada.

No sabríamos efectivamente reproducir un fenómeno «inverso» de otro. Nuestro principio de evolución no tiene excepción alguna, el mundo no retrocede; el tiempo corre siempre en la misma dirección, lo que podría ser la definición del mismo si pudiera definirse. Igualmente en el caso en que el movimiento inverso parece más perfectamente realizado, como en el caso de un péndulo que al fin de su carrera vuelve sobre sí, no hay repetición integral jamás de los estados sucesivos del movimiento primitivo. Siempre las causas preceden á los efectos y no pueden sucederlos. No conocemos transformaciones cuyos resultados sean inversos. Una máquina á vapor transforma el calor en movimiento, otra máquina transforma el movimiento en calor; pero esas máquinas son diferentes. Si fueran idénticas funcionarían idénticamente. Supongo que las tomamos á las dos en un momento en que funcionan en una misma provi-

sión de calor y en una misma provisión de movimiento; no son idénticas tampoco en el momento considerado, puesto que la primera aumenta la provisión de movimiento á expensas de la provisión de calor, y la segunda al contrario. En un transformador cualquiera es siempre la corriente de energía descendente la causa, el motor; y todo aumento de una provisión de energía es un resultado.

§ 33.—LA TENDENCIA Á LA MEDIOCRIDAD.

Ocupando el hombre un lugar definido en la escala de los fenómenos, todos ellos tienen dimensiones con relación á él. Conoce de diferentes maneras las diferentes partes de la actividad total, y por eso debe hablar de diferentes especies de energía. Pero puede darse una cierta unidad al lenguaje, comparando á un mismo fenómeno todas las manifestaciones de la actividad universal. Es lo que se ha hecho ya al representar por movimientos los fenómenos térmicos, químicos, etc. Las consideraciones precedentes nos han mostrado la importancia de las diferencias de nivel, de temperatura, de potencial en las afluencias de agua, de calor, de electricidad; podemos, pues, encontrar ventaja en comparar directamente á cualquier cosa única todas las diferencias mensurables en cada

especie de energías. La tensión de un resorte nos dará un buen modelo, fácil de imaginar.

Una pequeña cantidad de energía calórica, teniendo ante sí la posibilidad de un gran descenso de temperatura, se representará por un pequeño número de resortes muy tensos, mientras que una gran cantidad de la misma energía, en un sistema donde un pequeño descenso de temperatura sea únicamente posible, se representará por una multitud de resortes débilmente tensos. Esta comparación impedirá considerar como equivalentes las cantidades de energía calóricas que, medidas en unidades de calor, parecerían iguales.

Así, cuando una pequeña cantidad de calor cálido se extiende por conductibilidad en un cuerpo voluminoso y se enfría en él, la misma cantidad de calor se representará primero por un pequeño número de resortes muy tensos y luego por un gran número de ellos de una tensión debilísima. En un punto de vista al menos no habrá equivalencias. El interés de esta comparación con los resortes está en impedirnos olvidar el principio general de evolución. Sabemos perfectamente, en efecto, que un resorte se distiende siempre y que no se pone tenso por sí mismo; he ahí una imagen expresiva del sentido fatal de la afluencia de las energías.

Así pues, en todo sistema continente de pro-

visiones de energía mecánica, térmica, eléctrica, etc., veremos un cierto número de resortes tensos; uno de ellos, que llamaremos resorte hidráulico, representará un posible salto de agua, una diferencia de nivel entre una provisión de agua y un lugar donde pueda caer; el resorte térmico indicará la caída posible de temperatura entre un punto cálido y un punto frío al que puede fluir el calórico, etc. Nuestro principio general de evolución enseñanos que, en un sistema así representado, un fenómeno no puede comenzar sino por el aflojamiento de un resorte.

Pero otro principio, igualmente general, el de la conservación de la energía, nos enseña que si un resorte cualquiera se distiende en cualquier parte, debe aflojar allí, ó en otra parte, uno ó muchos resortes, cuyas tensiones adquiridas equivalen en cierto modo á la tensión perdida por el primero. Esas tensiones adquiridas son el resultado de los transformadores, así naturales como artificiales, de que está lleno el mundo; la energía que se derrama no puede tener en tensión los resortes.

Si esa energía transformada es, en cierto modo, equivalente á la primera, difiere de ella por ciertos respectos. Vierto un litro de agua á 60° en otro á 30°; mientras no hay desperdicio de calórico por conductibilidad, eso me da dos litros á 45°. El resorte térmico del primer litro

se ha aflojado un tanto, que corresponde á 15°; el del segundo, en cambio, se tensa del mismo tanto. Desde este aspecto hay equivalencia. ¿Estamos seguros, sin embargo, que dos litros á 45° permiten ejecutar las mismas cosas que un litro á 30° y otro á 60°? Evidentemente, no. Un cuerpo á 46°, por ejemplo, hubiera podido recibir el calor del litro á 60°; no sacaría dos litros á 45°, al menos directamente. Allí donde hay equivalencia, desde el punto de vista de la conservación de la energía, no hay identidad en la manera con que esa energía puede derramarse ó transformarse. Esto es lo que expresamos al decir que la totalidad de la energía se ha conservado, pero que la cantidad de energía utilizable ha podido variar.

Para saber lo que puede suministrar como trabajo un conjunto de resortes, hay que conocer no sólo la cantidad total de tensión de ellos, sino el grado de tensión de cada uno.

El principio de Carnot se opone á que, «en una forma dada de energía», un resorte muy tenso reciba de resortes menos tensos un aumento de tensión, pero no se opone por el momento á que los transformadores entren en juego.

Con un salto de agua en Chamounix, pueden elevarse pesos al Monte Blanco. Únicamente, allí donde hay transformador, hay siempre desperdicio. Una cantidad de calor que se enfría ex-

tendiéndose en un cuerpo, no podrá jamás, por sus propios medios, obrar en transformadores capaces de restituírnos toda la cantidad de calor primitivo en su primitiva temperatura. Siempre habrá pérdidas; habrá siempre una parte de energía primera que, iguales todas las cosas, se encontrará finalmente bajo la forma de resortes menos tensos. Todas las transformaciones van acompañadas de una pérdida de tensión; es imposible que nuestro mundo se encuentre nunca idéntico á lo que ha sido anteriormente, puesto que no recibe nada del exterior. Pero, ¿qué es lo que es exterior á nuestro mundo? Todas las especulaciones filosóficas que se quieran sacar del principio de Carnot, á propósito del porvenir del mundo, son sueños sin consistencia.

En cada forma de energía la afluencia sin transformación tiene por resultado el establecimiento de un equilibrio á un nivel medio, intermedio á dos niveles primitivos. Si las diversas formas de energía fueran verdaderamente distintas, estuvieran verdaderamente separadas las unas de las otras, una mediocridad desoladora sería la consecuencia fatal de todos esos establecimientos medios, acabarían por no manifestarse en el mundo ni una diferencia de temperatura, ni una diferencia de potencial eléctrico, ni una diferencia de altitud. No había ninguna tensión.

Felizmente, los diversos compartimientos en

que el hombre ha catalogado artificialmente las varias formas de energía están de tal manera relacionados entre sí, que todo resorte, aflojándose en un compartimiento, aumenta de un modo fatal la tensión en los compartimientos vecinos. Las afluencias sin transformación uniforman; pero las transformaciones crean de nuevo la diversidad. Hay pérdidas en el rendimiento, y hay producciones de calor, de esa forma de energía media que resulta siempre de una parte al menos de las energías transformadas. Así, no sólo en cada forma de energía, las afluencias producen uniformaciones de nivel, de potencial, de temperatura, sino que, en cada transformación, hay una parte de la provisión que pasa á la forma media de energía: la forma calor (1). Los físicos llaman al calor la energía degradada; no sé hasta qué punto es justa esa designación. Sea como quiera, á medida que el calor se enfría, hácese más difícilmente utilizable como productor de trabajo, pues es menester siempre buscar una fuente fría, más fría que la fuente caliente.

Hay todavía otra cosa que observamos sin explicárnosla. Un punto medio se establece entre dos receptáculos de una misma especie de

(1) Véase más adelante, cap. X, § 44, la comparación entre las temperaturas y las amplitudes y la explicación de que haya una media de calor y no una resonancia imitando un ritmo.

energía, por afluencia de la energía más alta á la más baja, «siempre que no hay obstáculo entre los dos depósitos»; la apropiación es necesaria en todos los casos donde se presenta un obstáculo inicial. Para un gran número de fenómenos, si no para todos, los obstáculos que se oponen á las afluencias naturales de energía aumentan á medida que descende la temperatura. Eso se manifiesta, por ejemplo, en las reacciones químicas. Vemos á nuestro lado, cerca de nosotros, cuerpos diferentes, entre los cuales, á una temperatura elevada, se establecerá un equilibrio, pero que á la temperatura actual del globo parecen desconocerse. El carbón combustible yace en paz en medio del aire comburente, hasta que una elevación de temperatura produce el surgimiento de un incendio. En la Luna, astro muerto y frío, coexisten quizá cuerpos que, convenientemente atraídos, producirían terribles reacciones. La radioactividad no es la única fuente de sorpresas que nos reserva lo porvenir. Descubrimos sin cesar nuevos manantiales de energía, resortes ocultos que no piden más que aflojarse y que no han tenido ocasión para ello todavía. El radio habría trastornado todos los principios, si los principios, formulados por el hombre según el estudio de lo que conoce, tuvieran la pretensión de reglamentar lo que descubrirá más tarde.