

CAPÍTULO II.

Causas productoras del calor animal.

§ 116

Cuando el genio de Lavoisier no había descubierto la verdadera naturaleza de los fenómenos respiratorios, se atribuía la producción del calor animal á causas muy distintas. Recordando que Aristóteles habia dicho que el movimiento producía calor, se supuso que la sangre impulsada con fuerza por el corazón lo producía también al rozar con las paredes de los vasos. Bichat, partiendo del principio de que los líquidos desprenden calórico al pasar al estado sólido, dedujo que la sangre, al formar parte de la trama de los tejidos, dejaba libre el calórico latente que contiene. Otros, teniendo en cuenta las alteraciones que experimenta la calorificación cuando se destruye el encéfalo de los animales, consideraron al sistema nervioso como verdadero agente productor del calor animal.

No puede negarse que la frotación y el rozamiento producen calor; pero como la sangre resbala por el interior de los vasos, dispuestos precisamente de la manera mas adecuada para que este rozamiento sea casi nulo, las cantidades de calor obtenidas por este medio son tan insignificantes, que ni aun pueden apreciarse. No debe negarse tampoco, despues de los experimentos de Nicholson, que la sangre desprende calórico al pasar del estado líquido al sólido; pero como las partes sólidas de la organización pasan al estado líquido ó al gaseoso para suministrar el material de las exhalaciones y secreciones, y como en este caso se absorbe ó se hace latente tanta cantidad de calórico como la que se habia desprendido en el primero, no es posible admitir, como lo hacia Bichat, que sea ésta la causa de la calorificación.

Sin negar la influencia que el sistema nervioso ejerce en esta funcion como en las demas de la economía, influencia que estudiaremos más adelante reduciéndola á sus justos límites, no es posible, á pesar de eso, concederle la importancia que Brodie, Chossat y otros fisiólogos le han querido dar. Cuando se extrae el encéfalo á un animal cualquiera, ó cuando se le decapita, no es extraño que se enfríe rápidamente, aunque se sostenga por algun tiempo su respiracion de una manera artificial, porque la absorcion del oxígeno y la exhalacion del ácido carbónico no se verifican ni pueden verificarse como en circunstancias normales. Ademas, las investigaciones de Wilson Philips y de Hastings han demostrado que los animales decapitados cuya respiracion se sostiene artificialmente, no se enfrían más pronto que los que han muerto sin decapitar, como suponía Brodie, sino que viven algun tiempo y su temperatura disminuye con menos rapidez, cayendo de consiguiente por su base los hechos en que se fundaba para asegurar que residía en el encéfalo el foco productor del calórico.

La teoría de Lavoisier aceptada, en lo que tiene de esencial, por la generalidad de los fisiólogos, destruye por completo estos errores. La experiencia ha demostrado que, *en toda acción química, al aproximarse las moléculas, restituyen bajo la forma de calórico la fuerza que las tenía separadas*; y como en el acto de la respiracion se introduce oxígeno en la economía; como este elemento comburente es conducido por la sangre á todas las partes del organismo, y como se fija en las sustancias combustibles que allí encuentra, oxidándolas y quemándolas más ó menos lentamente, esta combustion fisiológica ha de dar lugar, como todas las combustiones, al desprendimiento de calórico.

El lenguaje de Lavoisier, aunque data de 1789, es tan convincente y se halla en tan perfecta armonía con la claridad y sencillez que la ciencia exige, que no podemos

prescindir de insertar integras algunas de sus frases : « La
» respiracion, dice, no es más que una combustion lenta
» de carbono y de hidrógeno, tan parecida en todo á la que
» se verifica en una lámpara ó en una bujía encendida, que,
» bajo este punto de vista, los animales que respiran son
» verdaderos cuerpos combustibles que arden y se consu-
» men.

» En la respiracion, lo mismo que en la combustion, el
» aire de la atmósfera es el que proporciona el oxígeno y
» el calor ; pero como en la respiracion suministra el com-
» bustible la sustancia misma del animal, esto es, la san-
» gre, si los animales no reparan habitualmente por medio
» de los alimentos las pérdidas que experimentan por la
» respiracion, el aceite faltará bien pronto á la lámpara, y
» el animal perecerá, del mismo modo que una lámpara
» se apaga cuando le falta combustible.

» Las pruebas de esta identidad de efectos entre la res-
» piracion y la combustion se deduce inmediatamente de
» la experiencia. En efecto, el aire que ha servido para la
» respiracion, no contiene ya á su salida del pulmon la
» misma cantidad de oxígeno, y en cambio ha adquirido
» ácido carbónico y ademas una cantidad de agua mucho
» mayor que la que contenía antes de la inspiracion. Ahora,
» como el aire vital no puede convertirse en ácido carbóni-
» co, sino por la adiccion de carbono ni tampoco en agua
» sino por la adiccion de hidrógeno, y como esta doble com-
» binacion no puede verificarse sin que el aire vital pierda
» una parte de su calórico específico, resulta que por medio
» de la respiracion se extrae de la sangre una porcion de
» carbono y de hidrógeno, depositándose en su lugar una
» porcion de su calórico, el cual, durante la circulacion, se
» distribuye con la sangre por todas las partes de la eco-
» nomía animal para conservar esa temperatura casi cons-
» tante que se observa en todos los animales que respiran.
» Podría decirse que la analogía que existe entre la respi-

» racion y la combustion no había pasado desapercibida á
 » los poetas, ó mejor, á los filósofos de la antigüedad, de
 » quienes aquellos eran los intérpretes y los instrumentos.
 » Ese fuego robado al cielo, esa antorcha de Prometeo, no
 » representa únicamente una idea ingeniosa y poética ; es
 » la pintura fiel de las operaciones de la naturaleza, al me-
 » nos en cuanto á los animales que respiran. Podría, de
 » consiguiente, decirse con los antiguos que la antorcha de
 » la vida se enciende en el instante que el niño respira por
 » primera vez, y que no se apaga hasta su muerte. Esta
 » coincidencia de imágenes podría dar lugar á que se sos-
 » pechara que en la antigüedad se había profundizado más
 » de lo que pensamos en el santuario de las ciencias, y que
 » la fábula no era en realidad más que una alegoría bajo
 » la cual se ocultaban las grandes verdades de la medicina
 » y de la física. »

Lavoisier no se limitó á señalar en términos generales, la causa productora del calórico animal : quiso ir y fué más adelante ; quiso demostrar, y lo consiguió en parte, — á pesar de la imperfeccion de los medios de que podía disponer, y de haber perecido, víctima de los horrores de la revolucion francesa, antes de dar cima á sus trabajos — que la cantidad de calórico que se produce en el organismo en un tiempo dado, es, con corta diferencia, igual á la que desprenden el carbono y el hidrógeno que se queman en el mismo tiempo. La cuestion era difícil ; se necesitaba averiguar, en primer lugar, la cantidad precisa de carbono y de hidrógeno que se queman en la economía durante un tiempo de doce horas, por ejemplo : era necesario descubrir despues la cantidad de calórico que ese carbono y ese hidrógeno desprenden al quemarse, combinándose con el oxígeno para formar ácido carbónico el primero, y agua el segundo, y era indispensable, por último, conocer con exactitud las cantidades de calórico que en la mismas doce horas se producen en la organizacion, para ver si esa

cantidad era igual ó si era mayor ó menor que la que el hidrógeno y el carbono habían desprendido al quemarse.

A fin de resolver estos problemas, Lavoisier y Laplace idearon un aparato llamado *calorímetro*.

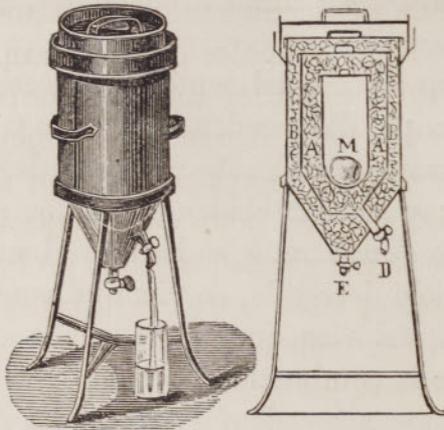


FIG. 87. — Calorímetro de hielo de Lavoisier y Laplace.

Consta de tres receptáculos de hoja de lata, concéntricos, de modo que el primero, M, más pequeño que los otros, queda encerrado dentro del segundo, AA, y el segundo lo queda á su vez dentro del tercero, BB : en el receptáculo interior ó más pequeño, se mete el animal destinado al experimento, cuidando de que le llegue aire puro para que pueda respirar ; en el segundo se pone hielo machacado con el objeto de que se derrita por el calórico que produce el animal, y en el tercero se pone tambien hielo, á fin de impedir que penetre en el interior el calórico emitido por los cuerpos exteriores : una espita con llave, D, sirve para recoger el agua que proviene del hielo derretido por el calórico del animal. Dispuesto el aparato de este modo, es fácil calcular, por la cantidad de hielo derretida, la del calórico empleado con este objeto, puesto que se sabe que un kilogramo de hielo absorbe, para deshelarse, setenta y nueve unidades de calórico ; y como este calórico

no ha podido venir del exterior, se deduce que lo ha suministrado el animal; y como por otra parte su temperatura permanece casi estacionaria durante el experimento, se deduce tambien que lo ha ido formando en este tiempo, y de consiguiente se llega á conocer *la cantidad de calórico producida por el animal en un tiempo dado*, que es lo que se busca.

El calorímetro sirve igualmente para averiguar la cantidad de calórico que desprenden el carbono y el hidrógeno cuando se queman, y con este objeto se les hace arder, separadamente, y en cantidades conocidas, en el mismo sitio del aparato donde antes se hallaba el animal, y por la porcion de hielo derretida, se viene en conocimiento de las unidades de calórico que han quedado en libertad á consecuencia de la combustion.

Conocidos estos antecedentes, solo falta descubrir las cantidades de carbono y de hidrógeno que el animal quema en un tiempo dado, y es fácil conocer la primera, por la del ácido carbónico que desprende en el mismo tiempo, y la segunda, por la de vapor de agua formado. De este modo se tienen los datos necesarios para poder resolver el siguiente problema: puesto que el animal quema la cantidad X de carbono y la cantidad Z de hidrógeno, en el espacio de veinticuatro horas, y puesto que esas cantidades de combustible desprenden al quemarse cien unidades de calórico, por ejemplo, ¿ produce el animal, en el mismo tiempo una cantidad de calórico igual? ¿ la produce mayor? ¿ la produce menor? Lavoisier y Laplace dedujeron de sus ensayos que la combustion del carbono, determinada por la respiracion, producía ochenta y seis por ciento próximamente de la cantidad total de calórico desprendida del cuerpo del animal, y que las catorce partes restantes se debían problamente á la combustion del hidrógeno.

Preciso es confesar que los resultados obtenidos por Lavoisier no son completamente exactos, porque en sus

experimentos hay varias causas que pueden ocasionar graves equivocaciones. En primer lugar, como el animal encerrado en el calorímetro se halla en un medio muy frío, se enfría por necesidad; y no sólo pierde el calórico que desarrolla durante su permanencia en el aparato sino una parte mayor ó menor del que había desarrollado anteriormente no siendo posible, por lo mismo, *apreciar con exactitud la verdadera cantidad de calórico que produce durante un tiempo determinado*. En segundo lugar, como no se miden *simultáneamente* el calórico desprendido por el animal en un tiempo dado y los productos de su respiración, *no se conocen con seguridad las cantidades de carbono y de hidrógeno quemadas en el mismo tiempo*; y en tercer lugar, se prescinde casi de la combustión del hidrógeno, y únicamente se dice que á ella se debe, según todas las probabilidades, la cantidad de calórico que se encuentra y que el carbono no ha podido producir.

MM. Dulong y Despretz se propusieron, treinta años después, evitar estas causas de error, pero en nuestro concepto no lo han conseguido: su *calorímetro de agua* sólo evita en parte el enfriamiento del animal; y aunque recogen en un gasómetro convenientemente dispuesto los productos de la respiración al mismo tiempo que se aprecian las cantidades de calórico desprendidas, como el agua del gasómetro absorbe parte del ácido carbónico exhalado, no se puede conocer con exactitud todo el que desprende el animal ni calcular tampoco, por lo mismo, la cantidad de carbono que el referido ácido contiene. Tal vez debe atribuirse á errores, casi inevitables en esta clase de investigaciones, el que Dulong y Despretz hayan sostenido que el número de calorías desprendido por los animales en un tiempo dado, era siempre algo mayor que el correspondiente al carbono y al hidrógeno quemados en el mismo tiempo.

Posteriormente Favre y Silbermann han corregido los cálculos de estos últimos observadores, demostrando que

la combustion del carbono, lo mismo que la del hidrógeno, producen mayor desprendimiento de calórico del que se había supuesto, y con esta rectificacion, las diferencias observadas son menores ; pero en el estado actual de la ciencia no es posible que desaparezcan por completo, porque hay tres grandes dificultades que se oponen á este resultado. En primer lugar, no se ha conseguido determinar con exactitud la cantidad de agua *formada en el cuerpo*, y de consiguiente no se puede tampoco calcular la del hidrógeno que se quema ni la del calórico que produce. En segundo lugar, se verifican en el organismo gran número de oxidaciones, cuyos productos se expelen con la orina ó con las heces, como la urea, el ácido úrico, los ácidos glico-cólico y tauro-cólico, etcétera, y estas combustiones incompletas producen calor en cantidades que hoy no es posible determinar ; y en tercer lugar, aunque conocemos el número de calorías que desprende una cantidad determinada de carbono ó de hidrógeno, cuando, estando en libertad, se combinan con el oxígeno, no sabemos si producen igual cantidad de calor ú otra diferente cuando al efectuar esta combinacion no están en libertad, sino que forman parte de compuestos orgánicos como el alcohol, la grasa, el azúcar, etc., que son los que en realidad se queman en la economía ; pues Berthelot ha demostrado que una cantidad dada de oxígeno, produce ménos calórico cuando se fija al carbono que cuando se combina con los compuestos oxigenados ; siendo *doble* la cantidad de calórico producida en las oxidaciones completas y *triple* en las incompletas ; y en cuarto lugar, porque ademas de la combustion, hay otros actos químicos que tambien dan lugar al desprendimiento de calórico.

De este conjunto de observaciones se desprende que faltan todavía datos para precisar el contingente de calórico con que cada una de las múltiples oxidaciones que tienen lugar en el cuerpo humano contribuye á la temperatura

general; pero no por eso deja de ser cierto que la causa principal de esa temperatura es la combustion lenta de las sustancias combustibles que suministran los alimentos, y de consiguiente que, como había dicho Lavoisier, los animales que respiran son cuerpos que arden y se consumen, siendo preciso alimentar constantemente la antorcha de la vida para que no se apague como la lámpara que se ha quedado sin aceite.

Puesto que el calor animal tiene origen especialmente en las combustiones fisiológicas que se verifican en todos los puntos de la economía á donde puede llegar la sangre, es casi inútil repetir que no son los pulmones el sitio donde reside el foco productor, como lo había creído Lavoisier. La sangre arterial se convierte en venosa al atravesar la red capilar que forma parte de la trama de todos los tejidos: en la profundidad de éstos es donde adquiere el ácido carbónico que le hace perder sus caracteres arteriales, y allí es por lo mismo donde cede su oxígeno, donde tiene lugar la combustion y donde se forman los productos oxidados *que restituyen, bajo la forma de calor, la fuerza de tension que mantenía antes separadas sus moléculas.* Por eso hemos visto que la temperatura de las diferentes partes del cuerpo guarda proporcion con la mayor ó menor actividad de las combustiones que en las mismas se realizan; por eso hay órganos que tienen mayor temperatura que la sangre; por eso Ludwig y Spiess han podido demostrar que la saliva que fluye de la glándula submaxilar es más caliente que el líquido nutricio que se dirige á la misma glándula, y por eso Cl. Bernard ha podido sentar en principio que no es la sangre la que da siempre calor á los tejidos, sino que son ellos los que muchas veces la calientan.

Acabamos de decir que ademas de las combustiones fisiológicas hay otros actos químicos que tambien dan lugar al desprendimiento del calor, y esto es lo que resulta de los últimos trabajos de Berthelot y de otros fisiólogos

modernos. Entre los complicados fenómenos de la nutrición de los tejidos, tanto en la asimilación como en la desasimilación, las sustancias grasas, hidrocarbonadas y protéicas, no sólo se oxidan, sino que se desdoblan, se hidratan y se deshidratan, resultando desprendimientos ó absorciones de calor. Así, en los desdoblamientos, con ó sin combinación, ocurridos en las féculas y en los azúcares; en el desdoblamiento de la creatina en sarcosina y urea, desdoblamiento con fijación de agua; en la hidratación de los protéicos con desdoblamiento; en la deshidratación de los mismos con combinación entre sus homólogos; en el desdoblamiento y en la hidratación de las grasas, etc., y en otros muchos actos químicos que fuera prolijo enumerar se producen cantidades considerables de calor.

El mecanismo de la producción de calor por las oxidaciones se comprende sin dificultad. Siempre que dos átomos se combinan, se verifica en ellos y en los del éter que les rodea, un *movimiento oscilatorio*, que impresiona nuestros tejidos y se revela á nuestro sensorio bajo la sensación de *calor*.

Las acciones mecánicas y químicas, y los diferentes movimientos del cuerpo, como el roce de la sangre en las paredes vasculares, etc., son origen de calor. Pero como estos actos se deben primitivamente á acciones químicas, resulta que calor y movimiento son dos fenómenos correlativos, para cuya explicación se admite lo que en la actualidad se conoce con el nombre de *teoría mecánica del calor*.

Según esta teoría, la *fuerza*, lo mismo que la *materia*, ni se *destruye* ni se *crea*: la una y la otra no hacen más que experimentar diversas *transformaciones* á consecuencia de las cuales aparecen con aspectos diferentes. Cuando el martillo percute sobre el yunque, parece que su rápido movimiento queda abolido por completo; pero si observamos, después de la percusión, que ambos instrumentos se *calientan*, podremos deducir que el *movimiento de trasla-*

cion del martillo, en lugar de aniquilarse, se convierte en calor. Si pudiéramos recoger este calor y dirigirlo como fuerza impulsiva del martillo, este instrumento se elevaría hasta la altura de donde descendió.

Del mismo modo, el calor solar, obrando sobre la planta, permite á ésta reducir las combinaciones oxigenadas que la rodean, guardando los radicales y devolviendo á la atmósfera una gran parte del oxígeno que se ha hecho libre; de manera, que la planta, al verificar esta reduccion, transforma en fuerza de tension la fuerza viva del calor solar. Ahora bien, los rayos solares que en las primitivas épocas del globo cayeron sobre los bosques vírgenes que cubrían su extensa superficie, ni se perdieron ni se aniquilaron, sino, antes al contrario, permitieron á aquella vegetacion exuberante descomponer el agua y el ácido carbónico de la atmósfera para que el vegetal fabricara sus numerosos productos combustibles. Hoy, estos bosques forman las minas hullíferas, y la hulla, oxidándose, convierte en calor estas numerosas fuerzas de tension; mueve las máquinas de vapor convirtiendo el calor en movimiento, y el movimiento, trasladándose desde el árbol de la máquina á una correa sin fin, que pasa sobre el tambor del aparato de Gramms, se transforma en electricidad é ilumina espléndidamente nuestras calles. De manera que, esa luz eléctrica, en último resultado no es otra cosa que *la verdadera luz del sol, que por espacio de muchos siglos existía almacenada en las entrañas de la tierra.*

Entre las pruebas de que la fuerza no se crea ni se destruye, en el estado actual del universo, sino que únicamente se transforma, tenemos la de que podemos *medirla* en todas las *formas* que va adquiriendo, ya sea de luz, ya de electricidad, ya de trabajo mecánico, etc., y la de que podemos *compararla* á una unidad constante. Para esto es indispensable que conozcamos la unidad de calor y la unidad de trabajo. La *unidad de calor* se llama en termodiná-

mica caloría, y es la cantidad de calor que se necesita para elevar un kilogramo de agua de 0 á 1 grado centígrado. La *unidad de trabajo* es el *kilográmetro*, ó sea la fuerza indispensable para elevar un kilogramo á la altura de un metro. Entremos en algunos detalles sobre este punto para la debida comprension de esta materia.

Supongamos un peso de 10 kilogramos, suspendido por un hilo á 50 metros de altura; es indudable que mientras permanece en suspension, representa, en estado de *potencia*, una fuerza que cuando el hilo se corte y el peso caiga, se manifestará objetivamente. Esta fuerza, en estado de potencia, recibe el nombre de *energía potencial*. Si cortamos el hilo, el peso caerá, y al llegar al suelo, la *fuerza viva* estará representada por su peso multiplicado por la altura de la caida, ó sea $10 \times 50 = 500$: esta fuerza viva ó *energía total* será, pues, igual á 500 kilográmetros.

Esta energía total de 500 kilográmetros es únicamente *potencial* al principio del movimiento, y toda entera *actual* al fin de la caida. Si en lugar de examinar este cuerpo cuando *empieza* á caer ó cuando *acaba* de caer, lo verificamos en cualquier momento de la caida, veremos que tiene á la vez una energía potencial y una energía actual: la primera depende del camino que todavía le falta recorrer; la segunda, de la altura que ya ha descendido, de tal manera que la suma de estas dos energías siempre es igual á 500 kilográmetros. Un ejemplo aclarará este punto: supongamos que el cuerpo haya descendido 20 metros; su energía actual estará representada por $10 \times 20 = 200$ kilográmetros; y como todavía le falta recorrer 30 metros para llegar al suelo, y conserva, por este concepto, una energía potencial representada por $10 \times 30 = 300$ kilográmetros, resulta que, sumando la energía potencial y la actual en el momento en que el cuerpo ha recorrido 20 metros, tendremos $200 + 300 = 500$ kilográmetros, cuya cantidad

es igual á la energía total del cuerpo caído desde la altura de 50 metros hasta el nivel del suelo.

El conocimiento de estos hechos es aplicable al estudio de las acciones químicas. Trasladando la cuestion á este terreno, veremos que cuando dos moléculas *tienden á* combinarse, representan cierta cantidad de fuerza de *tension* mientras su union está impedida; y cuando el impedimento cesa, estas moléculas se combinan, *caen* una encima de otra, como el peso caía sobre la tierra; la fuerza de *tension* se hace libre, y como ninguna fuerza puede aniquilarse, continúa obrando bajo cualquier forma, de calor, de electricidad, de luz, etc., hasta que vuelve á transformarse en fuerza de *tension* si vuelven á separarse las dos moléculas que se habían unido. Si en el ejemplo anterior la fuerza de desprendimiento, ó sea la que destruyó el obstáculo que se oponía á la libertad de la fuerza de *tension*, estaba representada por la fuerza que puso en movimiento las tijeras, aquí está representada por el sistema nervioso, segun veremos más adelante.

Por el momento, recordemos que *energía* es sinónimo de *fuerza*; *energía activa*, de *fuerza viva*, y *energía potencial de fuerza de tension*. Recordemos asimismo que las fuerzas son *equivalentes*, de manera que el calor y el trabajo mecánico pueden suplirse mutuamente, dando lugar á idénticos resultados. El equivalente mecánico del calor es, segun los trabajos de Regnault, 439, lo que quiere decir que para obtener una caloría es preciso transformar en calor un trabajo de 439 kilográmetros: y viceversa, la caloría puede transformarse en trabajo mecánico, en cuyo caso, esta unidad de calor eleva un peso de 439 kilogramos á la altura de un metro.

En todo animal, las partes que lo constituyen transforman la energía potencial en energía activa, á beneficio, principalmente, de la oxidacion. No hay organismo viviente en el que no se encuentren elementos combustibles

en presencia del oxígeno ; mientras este gas no se combine con dichos elementos, existirán las fuerzas en estado de tension, pero en el momento mismo en que la oxidacion se verifique, las referidas fuerzas se harán libres y se presentarán bajo la forma de calor, de movimiento mecánico, etc., verdaderas manifestaciones del trabajo del sér vivo.

No solamente las partes constitutivas del animal pueden considerarse como verdaderos *depósitos* de fuerzas de tension, sino que todos los alimentos ingeridos representan un sin número de energías potenciales. Estos alimentos, combinándose con el oxígeno, convierten las fuerzas de tension en fuerza viva calorífica. Siempre que un gramo de carbono, por ejemplo, se une al oxígeno del glóbulo se produce un desprendimiento de ocho á nueve unidades de calor, cuya cantidad representa el equivalente del trabajo que la afinidad efectuó durante la union del carbono con el oxígeno. De ahí se deduce que tampoco en este caso hay pérdida, sino simplemente modificacion de fuerza, pues la afinidad existente entre el oxígeno y el carbono, se ha transformado en vibracion calórica. Esta afinidad, antes de la oxidacion, *tendía* simplemente á que ambos cuerpos se combinasen ; era una fuerza de *tension*, una energía simplemente *potencial*.

Fáltanos todavía explicar una tercera fuerza, que en los organismos superiores tiene una importancia considerable : nos referimos á la *fuerza de desprendimiento*. En el ejemplo citado anteriormente, para que el peso caiga, basta *cortar* el hilo que lo sostiene, y la fuerza empleada para verificar este corte serviría lo mismo para hacer caer un peso más grande ó más pequeño. Esta fuerza se llama de *desprendimiento*, y como se ve, no guarda relacion con la intensidad del efecto producido.

Sentado esto, si á un péndulo oscilante, en el momento en que se halla fuera de la línea vertical, se le sujeta con

un anillo, queda en reposo mientras dura la indicada sujecion, y tienen lugar los siguientes hechos : 1.º la accion de la gravedad obrando sobre el centro de oscilacion, *tiende* á que el péndulo recobre la posicion vertical; esta fuerza de gravedad, que no puede manifestarse á causa de la sujecion del referido péndulo, representa la *fuerza de tension* ó *energía potencial* ; 2.º el anillo que sujeta el péndulo representa el obstáculo que se opone á que una fuerza de tension se convierta en *fuerza libre*, ó sea en *energía actual*.

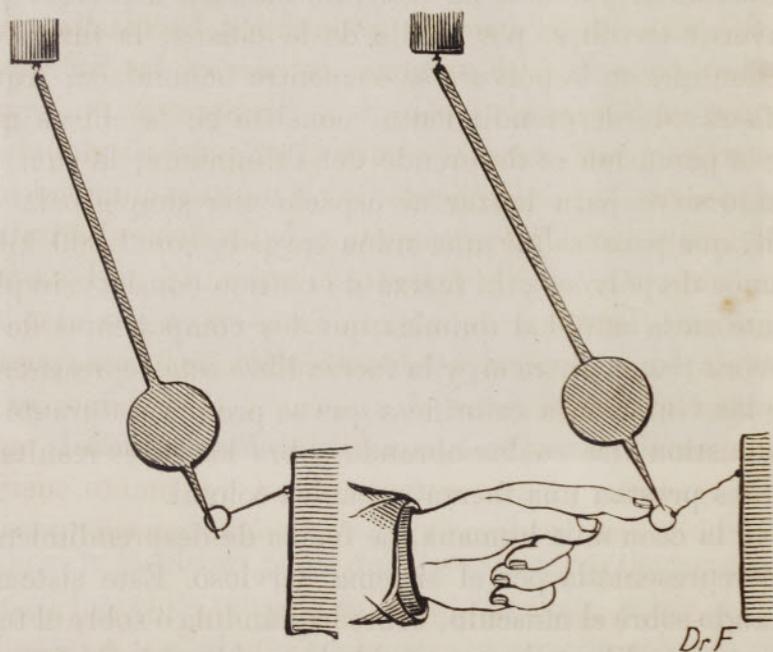


FIGURA 88.

Así las cosas, si con un dedo separamos el anillo del péndulo, éste volverá á oscilar, y entonces tendremos : 3.º que el esfuerzo muscular verificado por el dedo para obtener la separacion citada, representará la fuerza de *desprendimiento*; y 4.º que la oscilacion del péndulo vendrá á significarnos la *fuerza* en estado de *libertad*, á cuyo impulso el referido péndulo se mueve hasta recobrar

su posición vertical y con ella sus condiciones de equilibrio.

Del mismo modo, cuando el indio dobla su arco para fijar una flecha en la cuerda, la fuerza viva, contracción muscular, se convierte en fuerza de tensión, deformación del arco; y cuando dispara la flecha, la fuerza de tensión, elasticidad del arco, se convierte de nuevo en fuerza viva, proyección de la flecha, gracias á la fuerza de desprendimiento, contracción muscular del dedo.

Cuando disparamos un fusil, no hacemos otra cosa que convertir en libre, por medio de la chispa, la fuerza de tensión que en la pólvora se encuentra acumulada. Aquí, la fuerza de desprendimiento, consiste en la chispa que por la percusión se desprende del fulminante, la cual, lo mismo sirve para lanzar al espacio una simple bala de fusil, que para saltar una mina cargada con 1.000 kilogramos de pólvora; la fuerza de tensión consiste simplemente en la afinidad química que los componentes de la pólvora tienen entre sí, y la fuerza libre está representada por las vibraciones caloríficas que se producen durante la combustión, las cuales obrando sobre los gases resultantes, les prestan una fuerza mecánica colosal.

En la economía humana, la fuerza de desprendimiento está representada por el sistema nervioso. Este sistema, obrando sobre el músculo, sobre la glándula ó sobre el tejido, pone en libertad una cantidad considerable de fuerzas de tensión. Los filamentos nerviosos, sensitivos y motores, y las células, así en los ganglios como en el centro céfalo-raquídeo, pueden considerarse formados, bajo un concepto teórico, de diferentes partes, dotadas cada una de ellas de fuerzas de tensión, de tal manera, que cuando en una de estas porciones se suelta dicha energía potencial, y se hace libre, va á su vez á libertar la fuerza de tensión en la parte inmediata, ésta en la que sigue, y así sucesivamente. Podría compararse esta singular disposición á una serie de

arcos preparados para disparar sus flechas, de tal manera, que cada flecha disparada, *hiciera blanco* en la flecha siguiente, la cual, con el choque producido, se dispararía á su vez.

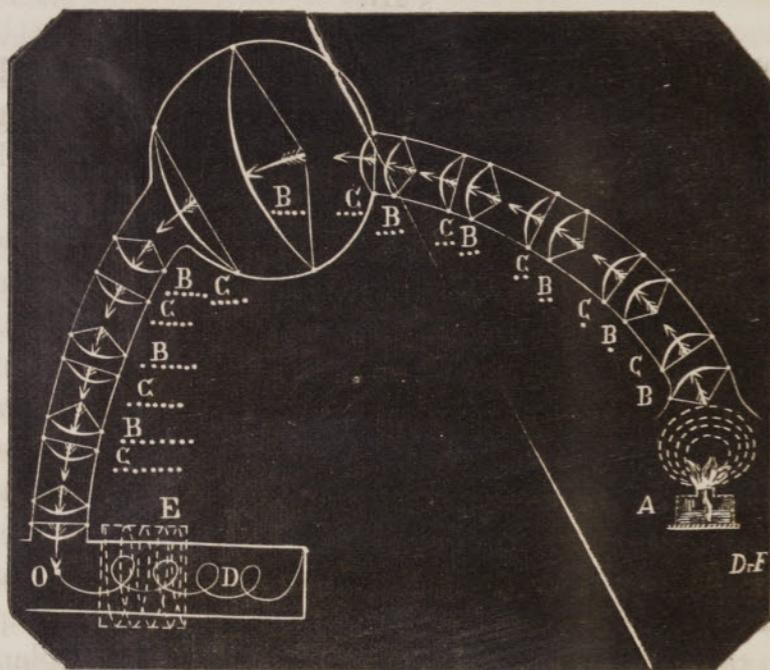


FIGURA 59.

Cuando la última parte del filete sensitivo tiene convertida su fuerza de tensión en libre, obra ésta sobre el centro nervioso, célula, el cual á su vez acciona sobre el primer elemento del filete motor, éste sobre el segundo y así sucesivamente hasta llegar al músculo estriado ó liso, ó al elemento glandular, ó á la célula del tejido, para soltar en este punto las fuerzas de tensión.

CAPÍTULO III.

Circunstancias que favorecen la producción del calor.

§ 117.

Puede establecerse como regla general, que todas las circunstancias que favorecen las combustiones fisiológicas, facilitan también el desprendimiento de calor en los seres vivos.

Las plantas, especialmente cuando se hallan en el período de germinación ó de florescencia, exhalan ácido carbónico, aunque en cortas proporciones, como consecuencia de una verdadera combustión, y desprenden por lo mismo una cantidad más ó menos considerable de calor. El *arum maculatum* adquiere, cuando germina, una temperatura superior á la del ambiente en 10° ó 12°, según las observaciones de Dutrochet ; y la de la *colocasia odorata* se eleva aun mucho más en las mismas circunstancias, según han notado Van-Beck y Vrolik, con la particularidad de que sólo tiene lugar este fenómeno cuando la indicada planta puede absorber oxígeno, porque si se la coloca en una atmósfera de ácido carbónico, lejos de aumentar, disminuye su temperatura.

Si los animales llamados de sangre fría, á los que con más propiedad se les debería llamar de *temperatura variable*, desarrollan poco calor, según hemos indicado anteriormente, depende de la poquísimas intensidad de las combustiones que tienen lugar en su organismo. Algo análogo sucede á los animales de *temperatura constante* en ciertos casos, pues en los primeros días de su vida, cuando apenas toman alimento, producen tan escasa cantidad de calor, que se enfrían con prontitud si les falta el de la madre ú otro que pueda reemplazarlo. La grande mortalidad de los niños recién nacidos, sobre todo en el invierno, se

debe, entre otras causas, á las imprudencias que bajo este punto de vista se cometen, y si los lacedemonios metían á sus hijos, al nacer, en un baño de agua fria, no era tanto para hacerlos fuertes y robustos como para poder apreciar el vigor de su organizacion ; porque no se aumenta la fortaleza de un arma por dispararla cuando tiene mucha carga, sino que únicamente se consigue de este modo calcular la resistencia del cañon.

Lo que sucede á los animales invernantes, demuestra una vez más la relacion íntima que existe entre la produccion del calor y las combustiones de la economía : algunos mamíferos, como la marmota, el liron, el erizo, el murciélago, etc., no encuentran, al llegar el invierno, con tanta facilidad como en verano, ni los insectos ni las sustancias vegetales de que se alimentan, y esta escasez de materiales combustibles disminuye gradualmente el calor que desarrollan, hasta que el frio de la atmósfera, que no pueden neutralizar, les deja en un estado de inactividad completa, sometiéndolos á una especie de letargo, durante el cual todas las funciones están entorpecidas, hasta que la primavera les proporciona el calor y los alimentos que necesitan para volver á la vida.

Durante el sueño natural, el movimiento respiratorio es menos enérgico, y como las cantidades de oxígeno que la organizacion adquiere en este estado son menores, disminuye tambien el calor que se produce. Si el hombre se enfría más fácilmente cuando está dormido, es porque el cuerpo comburente que circula con la sangre se repone con mayor dificultad. Hunter había ya notado que la temperatura del cuerpo humano disminuía durante el sueño un grado del termómetro centígrado.

Una de las circunstancias que más favorecen la produccion del calor es el ejercicio muscular ; y se comprende que ocasione este resultado, porque casi no hay ningun tejido que desprenda tanto ácido carbónico y de consiguiente que

esté sujeto á una combustion tan activa como el de los músculos cuando están en contraccion. Todos sabemos que el andar ó el correr aumenta considerablemente la temperatura, y entre los diferentes medios de calefaccion á que puede recurrirse para resistir la influencia de las estaciones frias, ninguno es tan eficaz como el ejercicio muscular. Esto mismo confirman los experimentos. Las investigaciones de Becquerel y Breschet con el aparato termo-eléctrico que hemos descrito anteriormente, han demostrado, así en los animales como en el hombre, que los músculos aumentan de temperatura al tiempo de contraerse ; y las de Valentin, Vierordt y Lassaigue han hecho evidente que esta elevacion de temperatura coincide con el aumento en las proporciones del ácido carbónico exhalado.

De acuerdo en todo con estas observaciones, M. Becclard añade que hay un elemento capital de que no se han ocupado los observadores. Segun este fisiólogo, la contraccion muscular, ya sea voluntaria ó provocada, puede manifestarse de dos maneras diferentes : unas veces la contraccion de los músculos no va acompañada del movimiento de las palancas óseas en que se insertan ; y otras, no sólo va acompañada del movimiento de las citadas palancas, sino que se levantan pesos adicionales y se vencen resistencias variadas. A la contraccion que tiene lugar en el primer caso la llama *contraccion muscular estática*, y á la que se verifica en el segundo, *contraccion muscular dinámica*. Ahora bien, segun el resultado de sus experimentos, aunque la contraccion muscular desarrolla siempre calor, lo desarrolla en mayor cantidad durante la contraccion estática que durante la dinámica.

Sin negar la exactitud de los hechos citados por Becclard, haremos observar únicamente lo difícil que es en esta clase de investigaciones evitar todas las causas que pueden inducirnos á error : la diferencia de temperatura

entre la contraccion estática y la que produce un trabajo mecánico cualquiera, es sólo de algunas fracciones de grado, segun afirma este distinguido fisiólogo; y ¿no será fácil que esta pequeña diferencia provenga de que el termómetro aplicado sobre la piel en la parte correspondiente á los músculos contraídos, obedece á influencias calóricas exteriores, á pesar de todas las precauciones que toma para evitarlas?

Es tanto más importante depurar bien todos los hechos, cuanto que esta cuestion, insignificante al parecer, está íntimamente relacionada con uno de los más graves problemas de la fisiología moderna. Nos referimos á la *teoría mecánica*, que en el párrafo anterior hemos expuesto.

Segun esta teoría el que las contracciones estáticas de los músculos desarrollarán más calor que las contracciones dinámicas, significaría que la oxidacion del carbono efectuada en los músculos, transforma la fuerza de tension en fuerza viva; que esta fuerza viva se manifiesta íntegra, bajo la forma de calor, cuando no hay trabajo mecánico exterior, como sucede en la contraccion estática; y que, cuando hay contraccion dinámica, únicamente se manifiesta bajo la forma de calor la parte de fuerza viva que no se utiliza en el trabajo mecánico exterior. En otros términos: las fuerzas vivas que dejan en libertad las combustiones fisiológicas, pueden manifestarse bajo la forma de calor, de electricidad ó de trabajo mecánico. Estas fuerzas conservan su intensidad primordial mientras se utilizan dentro del organismo, porque todo lo más que puede suceder es que las unas se transformen en las otras; pero pierden parte de su intensidad cuando bajo una ú otra forma se transmiten á los objetos exteriores. Estas indicaciones bastarán para demostrar que no exagerábamos al asegurar que la cuestion suscitada por los experimentos de Beclard, á que hemos hecho referencia, era mucho más grave de lo que á primera vista se podía suponer.

Siguiendo el estudio de las circunstancias que influyen en el desenvolvimiento del calor animal, es fácil comprender la importancia que en este fenómeno ha de tener la alimentacion y, si la citamos, es sólo para indicar que las inducciones de la teoría están completamente de acuerdo con el resultado de los experimentos. Chossat, Martins y otros fisiólogos han demostrado que en los animales que mueren de inanición disminuye la temperatura hasta 16° ó 18° . No es extraño, por lo mismo, que la sangre, rica en principios nutritivos, sea un gran elemento de calorificación, y que cuando disminuye la cantidad de los materiales reparadores que acarrea, haya siempre tendencia al descenso de temperatura. Con mayor razón aún, cuando la circulación se halle entorpecida, ó cuando la ligadura de una grande arteria no permita al líquido nutricio llegar á determinados órganos, ni podrán realizarse en ellos las combustiones normales ni tendrá lugar el desprendimiento de calórico, que son su consecuencia.

Los estados patológicos influyen de una manera muy distinta en la producción del calor: en unos casos, como en las enfermedades febriles, sobre todo en un principio, la mayor frecuencia del pulso y de los movimientos respiratorios contribuye á que las combustiones sean más activas y á que se eleve la temperatura: en otros, como en la diabetes sacarina, caracterizada por la presencia de la glucosa en la orina, falta en la sangre parte de este material combustible y se produce menos calor, segun ha demostrado Bouchardart y Lomnitz, sucediendo una cosa análoga en el asma ó en otras afecciones del aparato respiratorio por la escasa cantidad de oxígeno que reciben los pulmones; y en otros, en fin, sin que aumente ni disminuya la temperatura termométrica de los enfermos, experimentan sensaciones de frío ó de calor que indican el trastorno funcional de alguna de las partes del sistema nervioso.

§ 118.

Influencia del sistema nervioso en la calorificacion.

A pesar de que la opinion de los fisiólogos se halla muy en desacuerdo en cuanto se refiere á la influencia del sistema nervioso en el desenvolvimiento del calor animal, creemos que ni puede negarse esa influencia ni debe tampoco atribuírsele una importancia tan exagerada como por algunos se supone. El conjunto de hechos y de observaciones que hemos presentado anteriormente demuestra, en nuestro concepto, de una manera indudable, que la introduccion del oxígeno en el organismo y su combinacion con las materias combustibles son las principales causas del fenómeno que nos ocupa; pero, ¿debe asegurarse por eso que el sistema nervioso no toma en él ninguna parte? Las reflexiones más sencillas prueban lo contrario.

En primer lugar, no puede negarse que el sistema nervioso contribuye á la regularidad de los movimientos respiratorios: que cuando la influencia nerviosa se trastorna, la respiracion se hace más lenta ó más acelerada, más superficial ó más profunda, y que cuando esa influencia cesa, la respiracion se paraliza por completo. Ahora, como tampoco puede negarse que las cantidades de oxígeno suministradas en un tiempo dado á la economía, dependen de la mayor ó menor regularidad de los movimientos respiratorios, claro es que el sistema nervioso contribuye indirectamente al aumento ó disminucion de la cantidad del cuerpo comburente que circula con la sangre, y de consiguiente, á la mayor ó menor actividad de las combinaciones que han de dar por resultado el desprendimiento de calor. Una cosa parecida puede decirse de la circulacion: su rapidez y lentitud, su regularidad é intermitencia y hasta la mayor ó menor tension de la sangre dependen de

la influencia nerviosa; así es que esta influencia se hace sentir, *aunque sea indirectamente*, en la mayor ó menor facilidad con que el oxígeno llega á los tejidos, y por lo mismo, en la mayor ó menor facilidad de las oxidaciones fisiológicas. Por último, aunque no conocemos todavía la naturaleza íntima de los fenómenos que tienen lugar en la nutricion y en las secreciones, sabemos, sin embargo, que se encuentran bajo la dependencia del sistema nervioso, y como precisamente las oxidaciones que se verifican durante la nutricion y el movimiento secretorio son las que dan lugar al desprendimiento de calor, ó, si se quiere, á que las fuerzas de tension queden en libertad y se transformen en fuerzas vivas, no puede negarse, en el estado actual de la ciencia, la intervencion de ese sistema en el fenómeno que nos ocupa.

Y no sólo influye el sistema nervioso en la temperatura general del cuerpo, sino en la que, en circunstancias determinadas, adquieren algunos órganos, toda vez que los nervios vaso-motores aumentan ó disminuyen el calibre de las arteriolas de una region cualquiera, permitiendo, en el primer caso, el acúmulo de la sangre, con rubefaccion y *aumento de temperatura* de los tejidos, y entorpeciendo, en el segundo, la circulacion, con palidez y *refrigeracion* de los mismos.

La accion *indirecta* que el sistema nervioso ejerce en la calorificacion por medio de las alteraciones que ocasiona en el movimiento respiratorio y en la circulacion sanguínea, explica, no sólo el resultado de los experimentos de Brodie y de Chossat, de que hemos hablado anteriormente, sino algunos otros de que haremos una rapidísima reseña. Ciertas sustancias narcóticas, así como el éter, el cloroformo, el alcohol, etc., cuando se toman en cantidad bastante para perturbar las funciones del cerebro, contribuyen á que disminuya la temperatura. Segun M. Budge, la seccion de la médula espinal entre la

última vértebra cervical y la tercera dorsal, va seguida, en el conejo, de la *dilatacion* de las arterias de la cabeza y de aumento de calor en esta region. Lo mismo sucede destruyendo los ganglios del gran simpático de donde nacen los nervios vaso-motores de la cabeza y de los miembros, pues tambien se dilatan las arteriolas y aumenta la temperatura de las partes en que se distribuyen. Lo particular es, segun asegura Chossat, que hay otras porciones del gran simpático, cuya destruccion, lejos de provocar la dilatacion de los pequeños ramos arteriales y el aumento subsiguiente de temperatura, aniquilan por completo la produccion del calor. Extirpando á un perro el plexo semilunar, la temperatura bajó hasta 28° en el espacio de ocho horas, y en otro caso á 26°, en diez horas, á pesar de que era de más de 40° al empezar el experimento.

Segun los últimos trabajos de Claudio Bernard, expuestos en sus *Lecciones sobre el calor animal* (Paris 1876), el sistema nervioso interviene en la calorificacion del organismo, no sólo *indirectamente*, como acabamos de ver, sino de una manera *directa*.

Por eso, segun el referido autor, la seccion del gran simpático aumenta la temperatura, no sólo por el mecanismo acabado de explicar, sino tambien porque aumenta directamente las combustiones. Este nervio tiene, pues, dos acciones especiales, una accion vaso-motriz y una accion química. Si en lugar de la seccion se practica la galvanizacion del gran simpático, los tejidos se enfrían, porque los vasos disminuyen de volumen, y ademas porque los actos químicos se detienen á consecuencia de una accion directa. Y si se demuestra que la seccion del simpático, ó sea la abolicion de sus corrientes, produce un efecto calorífico, y la galvanizacion, ó sea la *exageracion* de sus corrientes, un efecto frigorífico, debe decirse que el simpático es un nervio *frigorífico*, ademas de ser *vaso-constrictor*.