

rior, no se han producido en ella cambios, y entonces ya podemos juzgar todos los fenómenos externos que se producen durante el proceso y determinar las condiciones de equivalencia entre ellos.

Otro gran mérito de Carnot consiste en su idea sobre la *máquina perfecta* donde se realizaría el proceso inverso, inverso no en el sentido técnico habitual de la acción inversa de las partes, sino en el sentido de que, además de la transformación del calor en trabajo, la máquina puede realizar un proceso circular inverso y, proporcionando trabajo, convertir, por así decirlo, el trabajo en vapor. Aquí tenemos la inversión de todo el proceso, y no meramente un cambio en la dirección del movimiento de la máquina. Carnot introdujo dicho concepto y demostró que si se lograra conseguir una máquina donde se produjese el proceso circular inverso, sería una *máquina perfecta*, entendiendo como máquina perfecta la capaz de establecer las condiciones del proceso circular inverso, totalmente independiente de la naturaleza de la sustancia de trabajo en la máquina³³.

Hemos hecho un breve esbozo del estudio de la máquina térmica ya que nos facilitará la exposición de lo que sigue. Sin embargo, las plantas no pueden ser comparadas directamente con la máquina térmica o con la electromagnética, cuál de las dos en este caso es indiferente. Las plantas acumulan energía solar, pero no la transforman en trabajo mecánico. Se detienen a medio camino, transformándola únicamente en afinidad química libre. Por ello, en lo que a las plantas se refiere, no podemos hablar de proceso circular. La cantidad de movimiento mecánico que se forma en las plantas es sumamente insignificante. El movimiento de las esporas de las criptógamas, de los estambres de algunas fanerógamas (por ejemplo, el bérbero), el crecimiento de la raíz y de los tallos, el cerrarse y abrirse de las flores y de las hojas en dirección al sol, la caza de insectos por parte de las dioneas, son todos ellos movimientos en su mayoría poco rápidos, débiles y que no duran demasiado tiempo. Constituyen toda la pequeña cantidad de trabajo mecánico realizado por las plantas. Frente a la cantidad de energía solar que reciben las plantas, incluso frente a la parte de energía que es transformada en afinidad química libre por las plantas, el trabajo mecánico de las plantas es tan insignificante que por el momento podemos dejarlo sin analizar en todos sus pormenores.

Mucho más importante es la acumulación de energía transformable por parte de las plantas, bajo forma de afinidad química. Hemos visto que las plantas, precisamente porque no realizan el proceso circular, no transforman el calor que reciben, la luz y la energía química, en trabajo mecánico, han tenido tiempo durante los siglos de acumular una importante reserva de energía transformable en la superficie de la Tierra. Dicha acu-

mulación de energía y su conservación siguen realizándose con la ayuda de las plantas incluso en nuestros días. Sabemos, es cierto, que la Tierra pierde, dispersa en el espacio, una cantidad de calor que corresponde a la diferencia de temperatura entre la superficie de la Tierra y el espacio. Pero, a idéntica temperatura, la cantidad de energía (incluida la energía oculta del calor que no se libera fácilmente), puede ser muy distinta en cada caso. Muy acertada es la siguiente opinión de *Secchi*³⁴: Los rayos solares, al caer sobre las plantas, no se reflejan y no se dispersan como sucede cuando caen sobre las piedras desnudas o sobre las arenas de los desiertos. Se conservan en gran medida, y la fuerza mecánica de sus oscilaciones se consume en la destrucción de los compuestos de oxígeno y carbono e hidrógeno, compuestos sólidos y conocidos con el nombre de *ácido carbónico y agua*.

Pero, ¿qué es lo que sucede entonces? Una parte del calor solar desaparece como calor. Se mantiene en la superficie de la Tierra, sin calentarla, sin aumentar su temperatura, sin aumentar su pérdida. Con una misma pérdida, la Tierra recibe más energía o con la misma aportación, pierde menos. Cualquiera que sea nuestro enfoque de la cuestión, en ambos casos, debido a la actividad de las plantas, se acumula energía en la superficie, y por cierto, no se trata de energía dispersa bajo forma de calor, energía o incluso luz, sino de la energía superior que se conserva durante siglos y capaz de transformarse de todos los modos posibles. Precisamente porque las plantas, durante su vida, no siguen el proceso circular completo, han aumentado y siguen aumentando la reserva de energía transformable sobre la superficie de la Tierra. En la Tierra, las plantas son ciertamente los peores enemigos de la dispersión universal de la energía.

Todavía es muy difícil determinar con precisión cuánta energía solar conservan las plantas, ya que para ello deberíamos saber la cantidad de calor que reciben todas las plantas de la Tierra y la cantidad de afinidad saturada que contienen durante un año mediante la descomposición del ácido carbónico, del amoníaco y de otros compuestos saturados o próximos a la saturación. Teniendo en cuenta que en algunos países de Europa ya se han hecho cálculos del número indispensable de grados de calor necesarios para llegar a la maduración de distintos tipos de cereales y de otras plantas cultivadas; teniendo en cuenta que, además, las cosechas medias de esas plantas son también conocidas, y la composición del suelo siempre puede determinarse, podemos esperar lograr muy pronto determinar qué porcentaje de la energía que se recibe del Sol puede contener más sustancia nutritiva y combustible, si una *desiatina*³⁵ de trigo o una *desiatina* de

³³ Tait, l.c., pp. 88-89 y Sadi Carnot, l.c., p. 21.

³⁴ Secchi. *Le Soleil*. T. II, p. 300.

³⁵ Antigua medida rusa de superficie (= 1,09 hectáreas, aproximadamente).

lino en el tejido para una prenda de vestir, etc. Actualmente, la mayor dificultad para determinar la energía estriba no en el cálculo de la energía conservada, sino en determinar la energía recibida. No cabe duda de que, además del calor de los rayos solares, también influyen en la vida de las plantas la luz, su acción química. Todavía es imposible hallar los equivalentes en calor o de trabajo mecánico con la precisión necesaria.

De este modo, en las plantas se lleva a cabo un trabajo de elevación de una parte de la energía solar desde un eslabón inferior a otro superior, al igual que el mismo trabajo se efectúa en el agua que se evapora bajo la acción del calor y que se acumula luego en cualquier depósito en un lugar elevado, o en el aire caliente que adquiere así un estado de gran elasticidad. La principal diferencia entre dichos procesos reside en que la energía se acumula en las plantas bajo forma de afinidad química, pero en el agua y en el aire lo hace inmediatamente bajo forma de un potencial movimiento mecánico. *Pero ni ésta ni la otra energía que es formada por ella misma sirven para elevar una nueva cantidad de energía a un eslabón superior.* El aire, al perder una parte de su calor cuando pasa a un lugar más frío, pierde también la elasticidad que lo obliga a moverse. Su trabajo se convierte en calor y se dispersa. El agua, tras vencer los obstáculos que la retienen, corre por las pendientes de la montaña hacia el río, y desde allí fluye hacia el mar. Su trabajo se convierte asimismo en calor mediante su fricción contra el fondo de su cauce, contra las piedras que arrastra, etc. Al final, este trabajo se dispersa inútilmente en el espacio. Las plantas se pudren o se destruyen, acidificándose con el oxígeno del aire y dispersándose la energía que conservan dentro de ellas, o se carbonizan si las condiciones son favorables, y ese carbón se conserva bajo las nuevas capas del suelo sedimentado. En este último caso, se conserva una importante parte de la energía de las plantas, pero es sólo una reserva, sin contribuir a elevar una nueva cantidad de energía inferior a un eslabón superior. La energía, conservada en el carbón de piedra, es, en esencia, únicamente calor solar conservado, sin ser todavía energía superior porque es evidente que la afinidad química del carbón tiene, para proporcionar un eslabón superior de energía (es decir, trabajo mecánico), que transformarse previamente en calor, y luego el calor a su vez en trabajo mecánico. En este proceso, por supuesto, se produce una dispersión constante del calor.

De este modo, si examinamos la historia de la conservación de la energía solar sobre la superficie de la Tierra, veremos que cuando la temperatura de la Tierra se mantenía, sobre todo, desde dentro de la Tierra, esta conservación no se producía. Mucho más tarde, cuando la principal fuente de calor para la Tierra fue el Sol, cuando aparecieron en la Tierra las zonas y las demás diferencias de temperatura, una parte de la energía

solar empezó a transformarse en trabajo mecánico debido a la acción del aire y del agua. Se conservaba una parte insignificante de la energía, que en su consumo se dispersaba enteramente en el espacio. La parte de energía que conservan las plantas es mucho más importante, pero de momento no hace elevar la nueva energía a un eslabón superior. Ya hemos mencionado los movimientos pequeños, llamados involuntarios, de las plantas, y no hemos profundizado en ellos por su escasa importancia. Es cierto que las capas de carbón de piedra constituyen una enorme reserva de energía transformable, pero sólo potencial, porque no se transforma en cinética, excepto tal vez los movimientos de los gases carbónicos en los vacíos. De esta manera, la energía acumulada por las plantas y situada en la superficie o dentro de la Tierra, no sirve para producir una nueva energía superior.

5. La importancia de los animales y del ser humano en la distribución de la energía. El concepto de trabajo

La energía que conservan las plantas no corre en todos los casos el destino del que hemos hablado. No todas las plantas se pudren y dispersan la energía que conservan. Tampoco todas la almacenan como reserva bajo forma de turba o de carbón de piedra. Desde que existen los animales en la Tierra, una parte de las plantas sirve para su alimentación, y en este caso la energía solar que conservan las plantas empieza a desempeñar un papel de índole bien distinta. Todos los animales convierten, en mayor o menor grado, la parte de la energía que conservan las plantas en su forma superior: en trabajo mecánico.

Empezaremos con los animales inferiores. Ya hemos dicho que incluso las plantas convierten una parte de su energía en calor y en trabajo mecánico. Por ello, no debe sorprendernos que exista un nivel donde entre los animales inferiores y las plantas no existe un límite claro no sólo en el plano morfológico, sino también en el carácter de los procesos químicos y físicos que se producen en ellos, en la distribución cuantitativa de las distintas formas de energía, etc. Pero en cuanto nos elevamos un poco en la escala del desarrollo de los animales, observamos inmediatamente una gran diferencia en el carácter de los procesos predominantes. En las plantas, los procesos de reducción son muy superiores a los procesos de oxidación. Únicamente en un valor muy insignificante las plantas mantienen su temperatura por encima de la del entorno. Sólo en casos muy poco frecuentes (por ejemplo, durante la fecundación (Arum et al.), algunas partes de las plantas alcanzan temperaturas bastante altas. En los animales, incluso inferiores, observamos lo contrario. Los fenómenos de la oxidación

predominan frente a los fenómenos de reducción³⁶. Los animales tienen que alimentarse de sustancias ya bastante reducidas, que contienen una reserva de energía transformable, de origen vegetal o animal. Los animales oxidan dichas sustancias en su cuerpo, calientan su cuerpo con ellas, extraen su capacidad para llevar a cabo un trabajo mecánico. Tras la ejecución de dicho trabajo, los animales vuelven sin embargo a dispersar la energía que conservan las plantas. Una gran parte de la energía desaparece en el espacio, mientras que el resto vuelve a transformarse. Las plantas la conservan descomponiendo el ácido carbónico que respiran los animales.

De este modo, todos los animales inferiores transforman en realidad una parte de la energía solar acumulada por las plantas en una forma superior, en movimiento mecánico, pero luego la dispersan de forma improductiva, es decir, sin haber usado ese gasto en una nueva transformación de la parte de la energía solar en formas superiores. Esa tarea es confiada a las plantas, pero incluso éstas, como hemos visto, se detienen a mitad de camino.

Tenemos aquí dos procesos que caminan uno al lado del otro y que suelen tenerse en cuenta cuando se estudia el círculo o el desarrollo de la vida. Las plantas acumulan cantidades determinadas de energía, pero los animales, al tragarse las plantas, convierten una parte de la energía conservada en trabajo mecánico y dispersan la energía transformable contenida en las plantas que han comido. Si la cantidad de energía que se acumula en las plantas es superior a la cantidad de energía dispersada por los animales, se produce una acumulación de la energía, por ejemplo, bajo la forma de capas de carbón de piedra durante el período de la vida de la Tierra en que, por lo visto, la vida vegetal era claramente más importante que la vida animal. Por el contrario, si la vida animal empezase a predominar sobre la vida vegetal, agotaría las reservas que existen en la sustancia nutritiva acumulada por las plantas, y dispersaría dicha energía en el espacio. La vida animal en sí misma no se mantendría por encima de la cantidad de la energía acumulada en cada momento por las plantas. De este modo, se interrumpiría la conocida relación, más o menos constante, entre la vida de las plantas y de los animales, entre ese acumular y esa dispersión de la energía. El nivel del presupuesto energético de la superficie de la Tierra sería en ese caso mucho más bajo que cuando predomina la vida vegetal ya que no podrían acumularse reservas de energía transformable porque los animales dispersarían toda la energía acumulada por las plantas durante un tiempo determinado. Por tanto, las plantas y los animales dejarían de

³⁶ Por lo visto, algunos fenómenos de la vida animal, por ejemplo, la fermentación de la albúmina, van acompañados por fenómenos de reducción. Véase S. Podolinsky, *Beiträge zur Kenntnis der pflanzlichen Eiweißfermenten*. Pflügers Archiv, 1876.

contribuir al posterior aumento de la conservación de la energía solar, y la magnitud de toda la energía de la superficie terrestre, con un nivel algo superior al de antes de la aparición de los organismos, sería, sin embargo, constantemente idéntico y no seguiría incrementándose. Pasarían los años y los siglos, el Sol enviaría, con su inagotable generosidad, sus rayos a la Tierra, pero la reserva total de energía transformable sobre la Tierra no aumentaría ni siquiera de la forma más insignificante. Repitémoslo una vez más: la vida existiría sobre la Tierra, pero ni la reserva total de energía, ni la vida aumentarían. Sería una especie de estancamiento, a pesar de la vida y del intercambio o metabolismo constante de la materia y de la energía.

Ahora ya está clara para nosotros la causa que haya podido existir dicho estancamiento. Estriba en que las formas superiores de la energía que alcanzan las plantas y los animales acaban siempre por dispersarse en el espacio sin dar fruto alguno y nunca fueron transformadas en *trabajo útil en el sentido del aumento de energía sobre la Tierra, es decir, en una nueva transformación de las formas inferiores de energía en formas superiores*, por ejemplo, del calor solar en trabajo mecánico, etc. De este modo, los animales dispersaban la energía alcanzada por las plantas, y las plantas, incluso en el caso más favorable de la predominancia de la vida vegetal, sólo la acumulaban como reserva bajo una forma en la que, en las circunstancias de entonces, no podía ser usada para la transformación de una nueva cantidad de energía solar en una forma más disponible.

Pero, si miramos a nuestro alrededor, vemos que actualmente no existe un estancamiento semejante. La cantidad de energía solar que ha adoptado el aspecto de una energía más transformable en la superficie de la Tierra, aumenta sin duda paulatinamente. La cantidad de plantas, animales y seres humanos es ahora indudablemente mayor que en la época de la primera aparición del ser humano. Numerosos lugares yermos han sido cultivados y cubiertos por una gran vegetación. Han aumentado las cosechas en todos los países civilizados. El número de animales domésticos y, sobre todo, de seres humanos se ha incrementado considerablemente. Por mucho que se diga del gran número de rebaños de animales salvajes, no cabe duda de que los animales domésticos y los seres humanos constituyen más materia viva y consumen una mayor cantidad de material de nutrición acumulada por las plantas que los animales salvajes. Vemos, es cierto, que existen países que antiguamente eran ricos y que se han convertido casi en desiertos, pero esos hechos han dependido claramente de errores económicos. Pero en general no podemos dejar de reconocer el aumento de la productividad del material nutritivo que es la reserva de la energía transformable en la superficie terrestre, desde la fecha de la aparición de los seres humanos.

He aquí unos cuantos ejemplos de las estadísticas agrícolas de Francia que evidencian la influencia que ejerce el trabajo sobre el aumento de la acumulación de energía en la Tierra.

En Francia existen actualmente unas 9.000.000 hectáreas de *bosques* que proporcionan un aumento medio anual de la madera igual a un peso aproximado de 81.000.000 quintales métricos (un quintal corresponde a 100 kilos). Por consiguiente, a una hectárea corresponden anualmente un aumento de 9 quintales métricos, o 900 kilos. Aceptando una cantidad de unidades térmicas que se halla en cada kilo de celulosa secada al aire libre, igual a 2.550, obtendremos la acumulación anual de calor solar por cada hectárea de bosque, igual a $900 \times 2.550 = 2.295.000$ unidades térmicas.

Los prados naturales ocupan en Francia un espacio de 4.200.000 hectáreas y producen anualmente un promedio de 105.000.000 quintales métricos de heno, o 2.500 kilos por hectárea. La acumulación anual de calor solar por cada hectárea de prado equivale, por tanto, a $2.500 \times 2.550 = 6.375.000$ unidades térmicas.

Vemos por consiguiente que, sin la intervención del trabajo, la vegetación espontánea, en las circunstancias más favorables (es decir, en un bosque o en un prado), acumula anualmente por hectárea una cantidad de energía solar que oscila entre las 2.295.000 y las 6.375.000 unidades térmicas.

Cuando interviene el trabajo, se observa inmediatamente un importante aumento.

En Francia, los *prados artificiales* ocupan ya una superficie de 1.500.000 hectáreas que, descontando el valor de las semillas, producen cada año 46.500.000 quintales métricos de heno, es decir, 3.100 kilos por hectárea. Por consiguiente, la acumulación anual de calor equivale a $3.100 \times 2.550 = 7.905.000$ unidades térmicas. El exceso, frente al prado natural, es igual a 1.530.000 unidades térmicas y se consigue, por supuesto, gracias al trabajo que se ejerce para construir un prado artificial. Dicho trabajo para una hectárea de prado artificial equivale anualmente de forma aproximada a 50 horas de trabajo con un caballo y 80 horas de trabajo de un ser humano. Todo ese trabajo, traducido a calor, es igual a 37.450 unidades térmicas. De este modo, cada unidad térmica, aplicada bajo forma del trabajo de un ser humano o de un caballo, para construir un prado artificial, produce una acumulación mayor de calor solar, igual a $1.530.000 : 37.450 = 41$ unidades térmicas.

El mismo fenómeno se observa en el cultivo de los cereales. En Francia se siembra trigo en un poco más de 6.000.000 hectáreas que, descontando las semillas, producen anualmente 60.000.000 hectolitros de grano y 120.000.000 quintales métricos de paja. Por consiguiente, cada hectárea produce 10 hectolitros, o bien 800 kilos de grano y 2.000 kilos de paja. En unidades térmicas, 800 kilos de grano, según el cálculo de sus compo-

ponentes como la albúmina, el almidón, etc., equivalen aproximadamente a 3.000.000 calorías, lo cual, junto a las $2.000 \times 2.550 = 5.100.000$ unidades térmicas contenidas en la paja, constituyen 8.100.000 unidades térmicas.

El exceso respecto a un prado natural es igual a $8.100.000 - 6.375.000 = 1.725.000$ unidades térmicas. Para conseguirlo se utilizan 100 horas de trabajo de un caballo y 200 horas de trabajo de un hombre, que producen juntos el valor de 77.500 unidades térmicas. Por consiguiente, cada unidad térmica gastada bajo forma de trabajo en el cultivo del trigo, produce una mayor acumulación del calor solar, igual a $1.725.000 : 77.500 = 22$ unidades térmicas³⁷.

¿De dónde procede el exceso de energía indispensable para producir este material nutritivo calórico? Sólo cabe contestar lo siguiente: *Del trabajo del ser humano y de los animales domésticos*. ¿Qué es el trabajo en este caso? *El trabajo es una utilización del trabajo mecánico y psíquico acumulado en el organismo que tiene como resultado el aumento de la cantidad de energía disponible en la superficie de la Tierra*. Dicho aumento puede producirse ya sea de forma directa (a través de la transformación de nuevas cantidades de energía solar en una forma más disponible), ya sea de forma indirecta (mediante la evitación de la dispersión, inevitable sin la intervención del trabajo, de una cantidad de energía transformable ya existente en la superficie de la Tierra).

¿De dónde procede la capacidad de trabajar y dónde está su principio en el reino animal? Decimos en el reino animal porque a partir de la propia definición del trabajo vemos que no puede producirse ni en el mundo inorgánico ni en el mundo vegetal. Los casos que hemos tratado de la manifestación del trabajo mecánico en el mundo inorgánico (es decir, los vientos, las corrientes de agua, las mareas) nunca transforman, sin la intervención del ser humano para usar su trabajo mecánico, la energía solar en una forma más disponible y nunca impiden la dispersión de las formas superiores de energía. Por el contrario, sólo dispersan sus propias reservas. Al evaporarse, el agua conserva en sí misma una parte de la energía solar, al igual que las plantas. Pero, al caer sobre la tierra, la vuelve a dispersar toda de nuevo, sin transformar en absoluto la energía inferior nueva en energía superior.

Del mismo modo, el concepto de trabajo no puede ser aplicado a las plantas porque las plantas sólo acumulan energía (ejemplo del carbón de piedra), o, cuando se pudren al aire libre, la consumen de forma improductiva, es decir, que la dispersan totalmente en el espacio. La energía acu-

³⁷ Véase: 1. Statistique de la France, 1874, 1875 y 1878. 2. Dictionnaire des arts et de l'agriculture de Ch. Laboulaye 4-me. 3. Pelouze et Fremy. Traité de Chimie. 4. Hermann, Grundzüge des Physiologie. 5-te Auflage. 1877.

mulada por las plantas sirve para elevar una nueva cantidad de energía hasta una energía superior en el caso que dicha reserva forme parte de los alimentos de un animal o de un ser humano *que trabaja*; o bien sirve de combustible para una máquina, construida y regulada por *el trabajo* del hombre. Por consiguiente, es evidente que en este caso no han trabajado ni los alimentos ni el combustible ni siquiera el material del que está hecha la máquina, sino el animal que estaba en el arado, o el ser humano que educó al animal, lo guió o que construyó la máquina.

Si nos referimos a los animales, nos costará mucho más definir el límite donde puede iniciarse la aplicación del concepto de trabajo. Tomemos el ejemplo de cualquier animal inferior y veamos para cuáles de sus funciones es posible aplicar el concepto de trabajo. En general, estamos acostumbrados a identificar el trabajo con el movimiento mecánico. Por ello, será muy natural que nos hagamos la pregunta de si es trabajo, por ejemplo, el reptar de la babosa o el vuelo de la mariposa.

A esta pregunta podemos contestar claramente que no; el reptar de la babosa y el vuelo de la mariposa no son trabajo porque se acompañan únicamente de dispersión de energía, y no de la ascensión inversa de la energía a un nivel superior. Pero nos objetarán que la babosa reptar para encontrar su alimento; la mariposa vuela para encontrar un lugar adecuado donde poner sus huevos de modo que las larvas tengan la reserva de alimentos suficiente. Diremos entonces que la naturaleza no conoce las finalidades; puede tener en cuenta sólo los resultados. Toda la vida de la babosa, todo su reptar, su búsqueda de alimentos, la digestión de las sustancias nutritivas que encuentra y la capacidad que saca de ellas para volver a moverse no transforman ni una mínima parte de energía solar en una forma que aumente la reserva de energía disponible en la superficie terrestre. La babosa no puede cultivar plantas; ello significa que no aumenta nunca con su intervención la cantidad de energía solar que contienen las plantas. Pueden decirnos que, sobre la base de la ley de la lucha por la supervivencia, la babosa, que vive en condiciones favorables, que encuentra alimentos abundantes, destruye una cantidad importante de materia vegetal; pero, en cambio, si encuentra pocos alimentos, por ejemplo, por una mala cosecha y se muere de hambre, da con su muerte la posibilidad de existir en el futuro a un número de plantas y, de este modo, aumenta la acumulación de energía. A lo que objetaremos, basándonos en la misma ley de la lucha por la supervivencia. Si la muerte de las babosas contribuye a incrementar la fuerza de la vegetación de cualquier lugar, es muy probable que aumente también el número de enemigos de esa vegetación. Al morir, la babosa no puede proteger las plantas de las que se alimentaba, de los demás consumidores. Por ello, es probable que el intercambio de energía seguirá teniendo las proporciones anteriores. Es evidente que este mismo razonamiento se aplica también a las larvas de la mariposa. Además no hay

que olvidar que con la palabra trabajo entendemos una acción positiva del organismo que tiene como resultado el aumento de la energía conservada, y, por ello, el hecho pasivo de la muerte de hambre acompañado por la interrupción de la existencia de un organismo, no puede ser incluido en la categoría de trabajo.

Hemos introducido este ejemplo tal vez un poco extraño para dar la importancia debida a la cuestión de la conservación de la energía. Es cierto que a primera vista puede parecer que la babosa, al morir, aumenta la vida vegetal por el hecho de dejar de destruir las plantas. Es lo mismo, como suele decirse, que el capitalista que *ahorra*, sin consumir sus rentas. Pero ambas cosas son sumamente injustas porque la babosa en realidad no sólo no aumenta la energía al morir de hambre, sino que incluso no puede proteger las plantas que no se ha comido de la ulterior dispersión. En una palabra, la babosa no trabaja porque no contribuye a aumentar las formas de energía transformable en la Tierra, ni aumentándola directamente, ni protegiendo de la dispersión las reservas que, en su uso posterior, podrían aumentar la conservación. En este sentido, tampoco trabaja el capitalista que no se come todos sus ingresos.

Esperamos con este ejemplo haber refutado el concepto, si podemos expresarnos así, del trabajo negativo. El trabajo es un concepto totalmente positivo, que estriba siempre en el uso del trabajo mecánico o psíquico, el cual tiene como resultado directo aumentar la energía disponible o evitar que se disperse la energía que, al usarla, tendrá como consecuencia el aumento de la reserva de energía.

A partir de este punto podemos concluir que cualquier movimiento de los animales que no tenga, por lo visto, finalidad, o que sirve para buscar alimentos, para protegerse del frío o de sus enemigos en espacios contruidos por la naturaleza, no puede llamarse trabajo porque su ejecución no conlleva como consecuencia indispensable el aumento de la energía sobre la superficie terrestre, y su incumplimiento, no la hace disminuir. Es cierto que cuando un animal se muere de hambre, la cantidad de energía superior cambia tal vez durante un instante, pero, según la ley del exceso de gérmenes, en el lugar del animal muerto aparece uno nuevo inmediatamente, y el intercambio se equilibra a un nivel condicionado por la magnitud de la conservación de la energía solar mediante las plantas. De este modo, para llegar al concepto de trabajo, debemos obtener una modificación de la ley de la lucha por la supervivencia de tal manera que la cantidad de energía contenida en cualquier obra de la naturaleza, aumentaría sistemáticamente y además con éxito, protegiendo al mismo tiempo dicha energía de la depredación de los enemigos naturales de esta obra de la naturaleza.

De ahí vemos que no sólo los movimientos de los animales no son un tipo de trabajo, sino también que sus acciones más complejas no pueden

tampoco ser incluidas en dicha categoría. Así, por ejemplo, la actividad de la araña que teje su tela no es todavía un trabajo ya que esta actividad no provoca un aumento de la energía ni evita su dispersión en el espacio universal. La araña, que atrapa un insecto y se harta al devorarlo, dispersa sin embargo la energía así conseguida de forma inútil, en el sentido del aumento del presupuesto energético total en la superficie terrestre. Debemos aplicar un razonamiento semejante para las adaptaciones bastante complejas y astutas de las hormigas león para pescar insectos y para otros hechos de la misma índole.

Sin embargo, después de esto, pueden preguntarnos si trabaja el hombre que vive exclusivamente de la caza y de la pesca. A ello deberíamos contestar que, ciertamente, el hombre que vive exclusivamente de la caza y de la pesca, no trabaja. Hemos llegado a dicha conclusión porque ese hombre no añade nada al presupuesto energético de la superficie terrestre. Y para la magnitud de dicho presupuesto sería totalmente indiferente si la energía transformable que absorbe el ser humano permaneciese como antes en el cuerpo de la fiera salvaje o del pez que le sirven de alimento. Sin embargo, en la realidad, la caza y la pesca sin duda deben considerarse en su mayor parte como un trabajo porque nos resulta muy difícil imaginar un ser humano que sólo buscara alimentos y se los comiera como un animal salvaje. Ya en los estadios más primitivos del desarrollo del hombre, la energía hallada en los alimentos, se convierte en parte en un trabajo mecánico y psíquico que, como, por ejemplo, la fabricación de las armas, la construcción de la vivienda, la domesticación de los animales, etc., debe ser incluido en la categoría de trabajos que aumentan la disponibilidad de energía, o en los trabajos útiles. Pero no sólo en el hombre primitivo, sino también en muchos animales, debemos reconocer la capacidad para el trabajo, y además no sólo en los animales domésticos, sino también en los animales salvajes, además de la intervención del ser humano. No conocemos, es verdad, casos en que los animales cultivasen sistemáticamente plantas, aumentando así la parte de la energía solar conservada³⁸, pero en cambio conocemos ejemplos de animales que con sus acciones permiten sistemática, aunque, tal vez no del todo conscientemente, un mejor desarrollo de las plantas de las que se alimentan. Podemos citar, por ejemplo, a los abejorros sin los cuales se dice que las flores del trébol rojo no se fecundan. Los abejorros fecundan a menudo las plantas de las que se alimentan, trasladando el polvo de los estambres a los estigmas. Algunos animales sociales, como, por ejemplo, las hormigas, llegan a tener como animales domésticos a un tipo de pulgón herbáceo, alimentándolo, criando sus larvas, protegiéndole de los enemigos y de otras influencias nocivas,

³⁸ Las más recientes observaciones de Lebbok le han llevado a concluir que el trabajo de algunas hormigas puede ser reconocido como agrícola. Véase *Revue Scientifique*, 1878, n.º 25, p. 544.

y luego utilizan el jugo que segregan los pulgones. Las hormigas edifican para ello construcciones subterráneas, abren comunicaciones con lugares alejados y, en general, realizan toda una serie de tareas que tienen como resultado directo el aumento de las reservas de la sustancia nutritiva que está acumulada en el cuerpo de los pulgones. Ya que de este modo la parte sobrante de energía potencial conservada por las plantas se transforma sistemáticamente en el cuerpo de las hormigas en una forma superior de trabajo mecánico cinético. No cabe duda pues, que las acciones de las hormigas, destinadas a dar a esa energía de los pulgones herbáceos una forma satisfactoria para un animal más móvil (las hormigas), debe figurar en esa categoría del trabajo. Pero esto no es todo. Entre las hormigas existe incluso una división del trabajo. Unas cavan la tierra, otras la moldean. Las terceras construyen, un cuarto grupo amontonan reservas, las quintas cazan, las sextas sorben la savia de las flores, las séptimas educan a los animales domésticos o se ocupan de la cría de los esclavos³⁹.

En cuanto a los animales superiores, por ejemplo, las aves, vemos que tienen toda una serie de acciones que se adecuan de cerca al concepto que hemos expresado de trabajo. En primer lugar, cabe citar aquí el perfeccionamiento de la capacidad de construir los nidos. Por ejemplo, según la conocida observación de *Pouché*, científico de Rouen, las golondrinas cambiaron en cuarenta años la forma de construir sus nidos, adaptándose a las condiciones variables de su vida. En Norteamérica, los nidos de la oropéndola de Baltimore están contruidos de forma distinta y pavimentados con distintos materiales, en función del clima, del lugar, etc. Los cerdos salvajes de Bengala cortan con sus colmillos los tallos de unas hierbas de 1 metro a 1,25 de altura para construir chozas que tienen un pasillo provisto de orificios que les sirven para vigilar los alrededores. Los chimpancés construyen nidos en los árboles altos, con un tejado parecido a un paraguas. Las construcciones de los castores son algo intermedio entre una cueva y una cabaña. Además de la entrada, tienen una habitación y una despensa⁴⁰. Podríamos aportar otros ejemplos del trabajo de los animales, sobre todo en lo que a la construcción de sus habitáculos se refiere. No cabe duda de que su construcción tiene como resultado la protección de una parte de la energía disponible del animal contra la dispersión. En este sentido, la construcción de los habitáculos de los animales persigue los mismos objetivos y alcanza en general los mismos resultados que en el ser humano, tiene el mismo papel que la vivienda de los humanos. Desde un punto de vista puramente cuantitativo, la temperatura más alta del habitáculo de un animal equivale a la conservación de la reserva de energía, igual que la conservación que aparecería si el animal pudiese, como el ser hu-

³⁹ Véase Espinas, *Sociétés animales*, París, 1877, pp. 43 y 215 y sigs.

⁴⁰ Espinas, *l.c.*, pp. 273 y 289.

mano, cultivar un campo o cultivar un huerto. Sin embargo, por otra parte, la energía conservada en el habitáculo de un animal no desempeña totalmente el mismo papel que en el ser humano porque se dispersa posteriormente en su mayor parte del cuerpo del animal al espacio sin provecho alguno, mientras que la energía conservada por el habitáculo en el cuerpo del hombre puede ser utilizada en un trabajo útil.

En la vida humana primitiva el trabajo, si se acepta la definición que hemos dado, no constituye todavía un elemento de gran importancia. Mientras el hombre existía entre otros animales, sometido a las leyes generales de la lucha por la supervivencia, recibiendo, sin ninguna acción por su parte, de la naturaleza exterior todo cuanto necesitaba para satisfacer sus necesidades —hasta entonces el hombre no modificó de forma perceptible la magnitud del presupuesto energético de la superficie terrestre—. Nos detendremos un poco en esta fase del desarrollo del ser humano para demostrar que el trabajo muscular no debe ser confundido con el trabajo útil. En realidad, un salvaje que se alimenta exclusivamente de la caza en los bosques primitivos o de la pesca en los ríos y a orillas de los lagos, sin poseer casi ningún arma, ningún artefacto perfeccionado, no estaba probablemente menos obligado a poner en tensión sus músculos que el agricultor de nuestros días. El hombre salvaje trabajaba mucho, pero su trabajo casi no era un trabajo útil en nuestro sentido del término porque el hombre salvaje aumentaba muy poco las reservas de energía transformable en la superficie terrestre. Por el contrario, el trabajador que lleva un arado de vapor o una máquina segadora, tensa muy poco sus músculos en comparación a la productividad de su trabajo en el sentido del aumento de las reservas totales de energía. Vemos así que los terribles esfuerzos musculares de la humanidad primitiva correspondían a una cantidad muy reducida de trabajo útil, mientras que, con el perfeccionamiento de la economía mecanizada, un trabajo muscular relativamente pequeño tiene como resultado cantidades importantes del trabajo útil.

No vamos a detenernos en la construcción de las viviendas del hombre primitivo ya que podemos hacer extensible lo que hemos dicho sobre la construcción de los habitáculos de los animales. Mucho más perceptible es la parte del trabajo útil en la fabricación de un arma, de una barca, de una red para pescar y de otros instrumentos, porque así se conserva una parte de la energía, que el hombre usa cuando construye una vivienda, hace un prenda de vestir, caza, pesca, etc. Gracias a esta acumulación de energía por el ser humano, pudieron surgir el primer ocio indispensable para él y las reservas de fuerzas que fueron utilizadas para el trabajo útil de una forma más directa, es decir, para un trabajo que tenía como resultado la acumulación del exceso de energía solar sobre la superficie de la Tierra. El primer trabajo de esta índole consistió en la domesticación de los animales domésticos, la cría y la protección de los rebaños, la destrucción sis-

temática de los animales depredadores, etc. Dichas acciones alteraron el equilibrio inicial, que se estableció bajo la influencia de la lucha por la supervivencia en el intercambio energético sobre la superficie de la Tierra, aunque no contribuyen mucho al aumento total del presupuesto energético. Es evidente que el cultivo y la protección de los rebaños, junto con la destrucción de los animales depredadores, aumentan en cierta medida la cantidad de las formas superiores de la energía que se traducen en parte en el trabajo mecánico de numerosos animales domésticos, y, en parte, en la multiplicación más rápida de los propios seres humanos. Pero este aumento se produce únicamente a cuenta de la anterior transformación de la energía solar, ya conservada por las plantas, y, por ello, esta reserva resulta muy pronto insuficiente. Los pastos ya no pueden alimentar los rebaños demasiado numerosos de los pueblos nómadas. Ello es fácilmente comprensible cuando tenemos en cuenta que el trabajo de la cría de los animales domésticos permite sólo la transformación de la energía conservada en las plantas hacia una forma superior, pero todavía no va acompañada de la acumulación de cantidades nuevas de energía solar. Sin embargo, el papel de la vida nómada y de la ganadería en el desarrollo del trabajo es altamente beneficioso. La abundancia de animales domésticos, que sustentó a la gente durante un tiempo, les dio ocio, espíritu de iniciativa y desarrollo, indispensables todos ellos para llevar a cabo con éxito las numerosas observaciones y las experiencias más o menos positivas que antecedieron a la divulgación general de la agricultura.

Con la agricultura, nos hallamos por primera vez ante un tipo de trabajo donde nuestra definición del trabajo ocupa claramente el primer plano. Una *desiatina* de tierra en la estepa salvaje o de un bosque primitivo donde no interviene el hombre produce de año en año una cantidad conocida de material de alimentación; si el ser humano emplea allí su trabajo, inmediatamente la productividad de la *desiatina* se multiplica por diez, veinte y más veces. Claro está, el ser humano no crea la materia, como tampoco crea la energía. La materia ya se encontraba íntegramente en nuestra *desiatina* de tierra, en el grano sembrado, en la atmósfera. La energía se consigue íntegramente del Sol, y no en cantidad mayor que antes. Pero gracias a la aplicación del trabajo humano, la *desiatina* de tierra conserva en la materia de la vegetación que la cubre ahora, diez o veinte veces más energía. Que no sea dicho que esa energía ya estaba en nuestra *desiatina*, que el hombre sólo contribuyó a su agotamiento. Eso es totalmente falso porque la agricultura agota el suelo únicamente cuando se lleva a cabo de forma irracional, de forma depredadora. Por el contrario, con una economía perfeccionada, la tierra produce mayores cosechas precisamente allí donde la agricultura existe desde hace mucho tiempo, por ejemplo, en Inglaterra, en Francia, Lombardía, Egipto, China, Japón, etc. Este es el motivo por el que pensamos que tenemos derecho a decir que una buena

agricultura es el mejor modelo del trabajo útil, es decir del trabajo que aumenta la acumulación de la energía solar sobre la superficie terrestre.

6. El origen de la capacidad para el trabajo en el organismo humano

Tras haber partido de la distribución de la energía en el espacio del Universo y en la superficie de la Tierra, hemos llegado al trabajo del ser humano, como creador que ha intervenido en dicha distribución. Pero todavía no hemos hablado del origen de la capacidad para el trabajo en el organismo, y ello es totalmente imprescindible no sólo para seguir analizando en particular el papel del trabajo en la vida social, sino incluso para entender bien el hecho fundamental de que el trabajo puede aumentar la energía disponible en la superficie de la Tierra. ¿De dónde procede la energía del organismo que es indispensable para realizar las acciones que llamamos trabajo? ¿Qué aparatos ejecutan esas acciones? ¿De qué fenómenos fundamentales van acompañadas dichas acciones?

A la primera pregunta podemos contestar teniendo en cuenta que todo el trabajo mecánico tiene en el organismo de los animales como principio la energía conservada en los alimentos bajo forma de afinidad química que, saturándose en el cuerpo del hombre con la afinidad química del oxígeno que respira, se transforma en calor, y una parte de este calor se convierte a su vez en trabajo mecánico. Únicamente una parte del calor puede someterse a dicha transformación. En primer lugar, como sabemos, el calor no puede transformarse íntegramente en trabajo mecánico, en energía de orden superior. En segundo lugar, el calor, elaborado en el organismo del ser humano, no es únicamente fuente de trabajo mecánico externo, sino que sirve también para el trabajo interno: la circulación sanguínea, el movimiento de los intestinos, etc., para mantener la temperatura constante, la evaporación del agua, etc. Por ello, no debe sorprendernos que sólo una pequeña parte de calor pueda transformarse directamente en trabajo mecánico externo que pueda tener como resultado directo el aumento de la energía sobre la superficie de la Tierra.

Nos detendremos un poco más en una de las primeras experiencias más importantes que demuestran la transformación del calor del organismo del ser humano en trabajo y que fue realizada por Hirn.

Hirn tomó un cajón de madera, herméticamente cerrado, en cuyo interior se podía mirar por unos orificios acristalados y bien enmasillados. En el cajón había espacio para una persona sobre la que se hacía el experimento, sin que su cuerpo tocara las paredes del cajón. El aire necesario para la respiración entraba por un tubo provisto de un grifo, y los gases expirados por la persona también salían del cajón por un tubo. En la primera experiencia, el hombre estaba en reposo; en las experiencias posteriores,

mediante un mecanismo especial, efectuó, durante tanto tiempo como fue preciso, los movimientos de subir una escalera y bajarla. El mecanismo fue construido de la forma siguiente.

En la parte inferior del cajón se colocó una rueda que giraba alrededor de un eje que salía fuera del cajón donde se ponía en movimiento mediante un cinturón de piel. Durante el movimiento de la rueda, el hombre sometido al experimento, sujetando las manos a la barra fija, fijada en la parte superior del cajón, y con los pies apoyados alternativamente en los tablones añadidos a la circunferencia de la rueda, debe hacer movimientos constantes como si subiese una escalera para conservar el punto de apoyo para sus pies. De este modo, en un tiempo determinado, el centro de gravedad de su cuerpo recorría un camino igual al camino recorrido en aquel momento por cualquier punto en la circunferencia de la rueda. Si la rueda gira en dirección contraria, el paciente se ve obligado a bajar constantemente a la barra inferior como si bajase todo el espacio recorrido por la circunferencia de la rueda en sentido contrario.

La cantidad de calor formada por el paciente, en relación al peso del oxígeno respirado, es distinta en esos tres casos distintos, es decir, en reposo, al subir la escalera y al bajarla. Las diferencias corresponden precisamente a las hipótesis sobre la energía mecánica del calor. Es evidente que hay que tomar cantidades de calor que correspondan a los distintos pesos del oxígeno respirado porque comparar las cantidades absolutas de calor, obtenidas en los tres distintos estados, sería totalmente erróneo. Hay que comparar las cantidades de calor correspondientes a una misma acción respiratoria, es decir, a la misma cantidad de oxígeno que entra en el organismo. Esta medición no fue difícil de realizar porque el aire entraba por un tubo que lo extraía de un gasómetro medido, mientras que los productos de desecho de la respiración también eran extraídos por el tubo al gasómetro medido como el primero, y del que se tomaba aire para llevar a cabo el análisis. Hirn determinó únicamente la cantidad de ácido carbónico porque la cantidad de vapores de agua sufre oscilaciones demasiado grandes debido al cambio del estado hidrométrico en el interior del cajón.

La medición de la cantidad de calor en cada caso empezó sólo cuando el termómetro, colocado en el interior del cajón, indicó una temperatura constante. En cada momento preciso, el paciente extrajo tanto calor como se perdía sumando las tres causas siguientes:

1. La irradiación del cajón.
2. El contacto con el aire externo.
3. El calor arrastrado por el movimiento del aire externo.

La influencia de esta última causa se determinó mediante el recorrido de los gases por el serpentín del calorímetro que tenía una temperatura

inicial del aire ambiente y, a continuación, mediante la medición calorimétrica con los métodos habituales.

Las otras pérdidas se midieron de forma aproximada sustituyendo al paciente por el mechero de Bunsen que midieron de forma que la temperatura del cajón se mantuviese igual a la que existía en presencia del hombre. Las mediciones de la cantidad de gas quemado en dichas circunstancias en un momento dado, permitieron calcular la cantidad de pérdida debida a las dos primeras causas, descontando, por supuesto, el calor eliminado por los productos de la combustión del gas.

Las cifras que presenta Hirn demuestran con claridad que los resultados de las experiencias corresponden totalmente a las previsiones de la teoría. De ellas se desprende: 1) que durante el trabajo se produce un importante aumento de la actividad respiratoria; 2) que con una misma actividad respiratoria (mismo peso del oxígeno inspirado) el desprendimiento de calor es inferior durante el trabajo al del calor en estado de reposo.

Por cada gramo de oxígeno inspirado se desprendió calor en reposo de 5,18 hasta 5,80 unidades térmicas; durante el trabajo, de 2,17 hasta 3,45.

Dichas experiencias proporcionan un resultado muy importante aunque sólo pueda ser aproximado: la magnitud del «equivalente [o coeficiente] económico» de la máquina humana, es decir, el porcentaje de calor transformado en trabajo mecánico. Helmholtz dedujo este calor a partir de los resultados de Hirn, basándose en algunas hipótesis aplicadas generalmente por los fisiólogos.

En estado de reposo, un adulto desprende, durante una hora, un promedio de cantidad de calor que, traducido íntegramente a trabajo, constituye el trabajo mecánico necesario para levantar su cuerpo a una altura de 540 metros. Por una extraordinaria coincidencia, 540 metros son precisamente la altura que una persona puede subir fácilmente durante una hora, subiendo una montaña que no presente demasiados obstáculos, es decir, en condiciones semejantes a las del paciente de Hirn. Pero, volviendo a sus experimentos, de los números presentados por Hirn, vemos que con un trabajo semejante, la actividad respiratoria se intensificó cinco veces respecto a su valor en estado de reposo. De ello se desprende que $1/5$ es el valor del coeficiente [o equivalente] económico de la máquina humana [es decir, el cociente entre trabajo efectuado y energía consumida].

Debe parecer sumamente importante que el cuerpo del hombre, considerado como máquina térmica, presente un coeficiente económico tan alto, tanto más si tenemos en cuenta los límites tan exigüos de la temperatura, de la presión, etc., en los que tiene que trabajar el hombre. Esta capacidad inhabitual para transformar la energía inferior en superior se observa en algunos órganos del cuerpo humano en todavía mayor medida, por ejemplo, en algunos músculos del interior del cuerpo. Helmholtz des-

cribió que, teniendo en cuenta la presión sanguínea arterial, el corazón, utilizando para elevarse la energía que emplea para el movimiento de la sangre, subiría en una hora 6.670 metros. Las locomotoras más potentes que se utilizan, por ejemplo, para subir las montañas más abruptas del Tirol, no pueden levantar su propio peso en un hora por encima de los 825 metros. Por consiguiente, como máquinas, son ocho veces menos potentes que un sistema muscular como el corazón⁴¹.

¿De dónde procede una semejante reserva de energía en el organismo del ser humano y cómo se distribuye? Ya que el ser humano se alimenta casi exclusivamente de sustancias que contienen mucha afinidad química libre, y además respira una cantidad de oxígeno correspondiente a su alimentación, podemos entender que con la unión del material alimenticio con el oxígeno debe liberarse mucho calor, una parte del cual se transforma también en capacidad de movimiento mecánico. Es posible calcular aproximadamente la cantidad de calor producido en el cuerpo del ser humano mediante estos procesos conociendo la cantidad de calor producido durante la combustión por distintas sustancias que utiliza el ser humano en los alimentos. Por ejemplo, 1 gramo de albúmina produce en una combustión completa 4.998 unidades térmicas [cal]; en la combustión hasta el nivel de la urea, 4.263 unidades térmicas. Un gramo de carne de vaca, liberado de cloro, proporciona en una combustión total 5.103 unidades de calor; y 4.368 unidades de calor hasta el nivel de la urea. Un gramo de grasa de ternera, 9.069 unidades térmicas⁴². Los hidratos de carbono también proporcionan en la combustión cantidades de calor que están cerca de los valores que hemos dado para la albúmina. En el organismo no todo el calor se conserva en forma invariable; se transforma en parte en electricidad, en algunos animales, incluso en luz (luciérnagas, moscas luminiscentes) y en trabajo mecánico en todos los animales. Existe un cálculo aproximado para determinar qué parte del calor total del organismo humano se gasta de una forma o de otra. Dicho cálculo presupone que al final todas las pérdidas de energía del organismo se convierten en calor. De la cantidad total de calor, un 1-2% corresponde a la pérdida de calor por parte de los excrementos (orina y defecaciones), entre un 4 y un 8% corresponde a la pérdida de la respiración, de un 20 a un 30% a la pérdida por evaporación de agua, y los restantes 60-75% se pierden con la radiación y el trabajo mecánico. Hemos visto que cerca del 20% del calor se convierte en trabajo mecánico⁴³, es decir, muscular, con un trabajo no demasiado intenso. En algunas circunstancias, este valor puede ser mayor.

⁴¹ Verdet. *Théorie mécanique de la chaleur*. París, 1868. T. II, pp. 246 y sig.

⁴² Hermann. *Grundriss der Physiologie*. Sexta edición. 1878, p. 211.

⁴³ Hermann, l.c., p. 215.

Mencionaremos sólo brevemente los demás movimientos que se producen en el organismo del ser humano, y nos detendremos a continuación en el trabajo muscular y, parcialmente, en las funciones psíquicas. Los fenómenos eléctricos que se producen en los sistemas muscular y nervioso, no se dan, con toda probabilidad, fuera del cuerpo humano, a no ser que se conviertan en calor (exceptuando unos flujos sumamente insignificantes de la superficie del cuerpo). Por ello, podemos dejarlos aquí sin seguir profundizando en ellos. Ello se refiere también a la manifestación de movimientos que se realizan en el organismo además del trabajo de los músculos lisos y estriados transversales, que son precisamente: 1) el movimiento de las células contraídas; 2) del epitelio vibrátil, 3) de los zoospermos, 4) de movimientos casi imperceptibles que acompañan el crecimiento, el desarrollo, etc.⁴⁴. Todos estos movimientos carecen de importancia, por lo que en este punto no los tenemos en cuenta.

«El movimiento muscular es la principal función de la vida animal y, por tanto, el sistema muscular es el centro de los fenómenos que tienen lugar en los seres vivos»⁴⁵. Diríase, añade Marey a las palabras de Claude Bernard, que las funciones musculares deben compartir la posición predominante con la sensación, propiedad no menos importante del organismo. Pero esta capacidad de sentir es percibida por el observador sólo mediante la reacción motriz, provocada por ella. ¿Cómo sabe el biólogo que ha producido una sensación en un animal? Solamente por el movimiento que es consecuencia de la sensación. Sin el movimiento que la evidencia, la sensación sería totalmente subjetiva y casi siempre se escurriría de las investigaciones experimentales⁴⁶. Dichas palabras cobran gran importancia para nosotros cuando analizamos las relaciones que existen entre las funciones y el movimiento muscular y, en general, en la cuestión del trabajo nervioso.

Volvamos ahora al sistema con el que se ejecuta en el organismo del hombre el trabajo mecánico, es decir, a los músculos. Debemos suponer que el lector conoce su estructura morfológica y su composición química, por lo menos en rasgos generales, y pasaremos inmediatamente a la producción en sí del trabajo mecánico en el músculo. El mecanismo más frecuente de la contracción muscular consiste, aparentemente, en la formación de una pequeña hinchazón en cada fibra inicial que se realiza según la longitud de esta fibra. El acortamiento de todas las fibras, es decir, de todo el músculo, produce la fuerza motriz del músculo. El engrosamiento ocupa sólo una pequeña parte de la longitud de cada fibra, pero se mueve por cada una, desplazándose como una onda que corre sobre la superficie

del agua. Cuando esta onda ha recorrido toda la longitud del músculo, desaparece, y el músculo adopta su longitud inicial⁴⁷. Durante la contracción el músculo no sólo se acorta, sino que también su volumen disminuye, así como su elasticidad⁴⁸. Al contraerse, el músculo revela la fuerza conocida que podemos medir colgando un peso del músculo, obligándolo después a contraerse y observando con el miógrafo la altura de la elevación del peso durante la contracción. De este modo, el máximo de trabajo de un gramo de un músculo de rana es igual a 3,324 hasta 5,760 gramosmetro. Por regla general, se determina la fuerza del músculo mediante la mayor fuerza de contracción que puede alcanzar ante el estímulo más potente. Para un centímetro cuadrado de la sección transversal del músculo de la rana, esta fuerza se expresa con un peso de 2.800 a 3.000 gramos, y para un centímetro cuadrado de músculo humano, cerca de 6.000 a 8.000 gramos⁴⁹. La fuerza muscular relativa de las aves y de los insectos es superior a la del ser humano⁵⁰. A partir de estos datos fue posible calcular aproximadamente la cantidad de trabajo que podrían realizar el hombre y los animales domésticos. Esta cantidad se equipara al trabajo realizado por las máquinas de vapor. Se toma como unidad la fuerza de caballo de vapor, o 75 kilográmetros por segundo. El trabajo del hombre suele ser evaluado en 0,1 caballo de vapor, pero esta evaluación se refiere únicamente al trabajo general del hombre. En casos concretos, por ejemplo, cuando se eleva el propio cuerpo sobre las manos, el hombre puede desplegar en un breve instante un trabajo equivalente al trabajo del caballo de vapor o incluso superarlo⁵¹.

Para conocer mejor la fuente del trabajo mecánico que realizan los músculos, debemos recurrir a los fenómenos físicos y químicos que acompañan la contracción muscular. Ya Béclard⁵² descubrió que la temperatura del bíceps del hombre aumenta durante la contracción. A continuación, Heidenhein, con la ayuda de un aparato termoelectrico muy sensible, descubrió que la temperatura de un músculo de la rana aumenta en 0,15°, y con otras contracciones, de 0,001° hasta 0,005°. Más tarde, Naválijin llegó a formular la siguiente hipótesis importante: la cantidad de calor que se forma en el músculo, aumenta más aprisa que el trabajo producido. Durante la contracción con cargas importantes, la liberación de calor se produce no sólo durante la contracción, sino también durante la relajación del músculo⁵³. Todos estos hechos demuestran que durante la con-

⁴⁴ Hermann, l.c., p. 215.

⁴⁵ Hermann, l.c., pp. 212-213.

⁴⁶ Marey. *Du mouvement dans les fonctions de la vie*. París, 1878, p. 205.

⁴⁷ Marey, l.c., p. 219.

⁴⁸ Rosenthal. *Les nerfs et les muscles*. París, 1878, pp. 41-42.

⁴⁹ Hermann, l.c., p. 245.

⁵⁰ Marey. *La máquina animal*. París, 1873, p. 66.

⁵¹ Marey. *La machine animale*, p. 71.

⁵² Archives générales de médecine, 1861, enero-mayo.

⁵³ Hermann, l.c., p. 250.

tracción de los músculos una parte de su energía transformable no se convierte en trabajo mecánico, sino que se convierte en calor, es decir, se dispersa. Los trabajos de Naváljin demuestran claramente que, con un trabajo intenso, esta pérdida de energía es mucho más importante que con un trabajo moderado. Asimismo, los últimos trabajos de Fick y de Hartenek⁵⁴ confirman plenamente estos datos. Por ejemplo, estos investigadores han descubierto lo siguiente:

- 1) La cantidad de trabajo químico que se produce en el músculo durante la contracción depende no sólo de la fuerza del estímulo, sino también de la tensión del músculo. La cantidad de calor aumenta si, durante la propia contracción, aumenta el peso colgado.
- 2) El trabajo químico indispensable para producir un efecto mecánico debe ser tanto mayor cuanto más fuerza se resiste a la contracción del músculo.
- 3) La cantidad total de calor formado durante una contracción equivale a 3,1 microcalorías. Según otro cálculo, se ha descubierto que si la sustancia combustible del músculo es el carbono, durante una contracción con un peso importante la combustión no supera los 0,0008 miligramos.
- 4) En el caso de una contracción enérgica, la cantidad de trabajo químico realizado supera en aproximadamente cuatro veces la magnitud del trabajo mecánico realizado. Cuando la resistencia es débil, el trabajo mecánico constituye una proporción inferior al trabajo químico.

En cuanto a los procesos químicos, durante la contracción del músculo se observa lo siguiente:

- 1) El músculo forma ácido carbónico. Ello es evidenciado ya en las experiencias de Hirn ya que el trabajador expiró aquella vez cinco veces más ácido carbónico que en estado de reposo. Según las investigaciones de E. Smith⁵⁵, la expiración de ácido carbónico durante un trabajo intenso puede superar 10 y 12 veces la habitual. En el músculo seccionado, también se ha demostrado directamente la liberación de ácido carbónico durante el trabajo.
- 2) Durante la contracción, el músculo consume más oxígeno. Asimismo, todo el organismo consume durante el trabajo más oxígeno aunque, por lo visto, no tanto como aumenta la formación de ácido carbónico.
- 3) El músculo se acidifica durante el trabajo. Se acumula en él ácido láctico.

⁵⁴ Pflügers Archiv, 1878, XIV, p. 59.

⁵⁵ E. Smith. Die Nahrungsmittel, 1873.

4) Por su composición química, el músculo cambia debido a la actividad de forma que el extracto acuoso disminuye, mientras aumenta el extracto de alcohol⁵⁶.

Toda la suma de estos fenómenos en el músculo que trabaja se reduce a la descomposición de los compuestos químicos acompañados de la saturación de una afinidad más fuerte y de la liberación de la conocida cantidad de energía que cobra la forma de trabajo mecánico. Desconocemos cuáles son precisamente las sustancias que se descomponen y cómo se forman. Antes se pensaba que el trabajo de los músculos se realizaba principalmente gracias a las sustancias nitrogenadas, es decir, a la albúmina, etc. Pero en los últimos años se ha llegado a una conclusión diametralmente opuesta. Durante un trabajo moderado, la cantidad de albúmina segregada no aumenta, mientras que la cantidad de ácido carbónico expirado ya ha aumentado mucho. Únicamente en un trabajo muy intenso donde puede suponerse la destrucción de algunas fibras musculares, se observa un aumento de la albúmina segregada. A consecuencia de ello, ahora se cree que el trabajo se realiza por cuenta de los hidratos de carbono, mientras que los nitrogenados sirven sólo para excitar el propio sistema muscular y otras partes del cuerpo que contienen nitrógeno y, tal vez, para el trabajo nervioso.

No vamos a analizar aquí las analogías que existen entre la contracción de los músculos y su inercia, y no nos detendremos en el papel hipotético de la miosina que se coagula o se vuelve a disolver, porque en este caso estas cuestiones son demasiado especiales y, además, todavía no han sido objeto de generalizaciones que puedan ser aceptadas con la suficiente probabilidad. Para quienes deseen profundizar en estos temas mencionamos especialmente las obras de Heidenhein, Fick, Hermann, J. Ranke, etcétera.

Si existen tan pocos conocimientos fidedignos sobre los fenómenos físicos y químicos que acompañan la actividad muscular, todavía sabemos menos sobre los procesos psíquicos y su relación con el presupuesto energético total de nuestro organismo. Todo lo que sabemos hasta ahora al respecto se reduce aproximadamente a lo siguiente: la actividad psíquica, al igual que la muscular, se acompaña de la formación de calor, precisamente en las células nerviosas⁵⁷. La segregación de sales fosfóricas aumenta⁵⁸; el intercambio de sustancias nitrogenadas, por lo visto, aumenta también. Además, la actividad psíquica, al agotar al hombre, lo hace no sólo menos capaz para continuar el trabajo intelectual, sino que debilita incluso su capacidad para la actividad muscular. A su vez, el trabajo muscular ejerce

⁵⁶ Hermann, l.c., pp. 260-261.

⁵⁷ Schiff. *Archives de physiologie*. T. II, 1870.

⁵⁸ Byasson. *Journal de pharmacie*, 1867.

una influencia semejante no sólo respecto a la actividad muscular, sino también en relación con el trabajo psíquico.

7. El ser humano como máquina térmica

Hemos intentado exponer lo más brevemente posible y deteniéndonos sólo en los hechos suficientemente demostrados por la ciencia las bases biológicas del origen de la capacidad para el trabajo mecánico en el cuerpo humano. Tras recordar que hemos hablado de las máquinas térmicas, veremos que podemos aplicar también este concepto al organismo del ser humano. Tan sólo debemos recordar aquí que con las palabras «máquina térmica» no hay que sobreentender solamente la máquina que trabaja a alta temperatura con el vapor, sino cualquier tipo de máquina que tenga capacidad para transformar una parte de la energía inferior menos transformable en energía superior, más transformable, es decir, en trabajo mecánico. En este sentido, la máquina electromagnética será exactamente una máquina térmica o, mejor dicho, una máquina energética como la máquina de vapor. Lo mismo se aplica al organismo humano. Algunos físicos, como, por ejemplo, Joule⁵⁹, piensan que el organismo animal presenta más analogías con una máquina electromagnética que con una máquina de vapor.

Es evidente que, al comparar al hombre que trabaja con cualquier máquina térmica, se plantea inmediatamente la mayor complejidad del organismo humano. La máquina obtiene la fuente para su actividad con un método determinado, como, por ejemplo, el encendido del combustible o los procesos químicos que se producen en las pilas galvánicas. El trabajo de la máquina se realiza asimismo en una dirección aproximadamente. Algo muy distinto sucede en el ser humano. Es cierto que su alimentación es, junto con la respiración, casi su única fuente de energía, pero para conservar la energía utiliza una serie de métodos que se aplican ya sea instintivamente, como satisfacción de las necesidades, ya sea premeditadamente, a través de la educación, la enseñanza, etc. En realidad, por ejemplo, la indumentaria y la vivienda que satisfacen las necesidades humanas de defensa de las excesivas pérdidas de calor, provocan igualmente la conservación y una mejor distribución de la energía en el cuerpo del ser humano, igual que, por ejemplo, el aprendizaje conlleva una mejor distribución de la energía durante el trabajo.

La segunda diferencia, todavía más importante, que debemos destacar entre el ser humano y cualquier máquina térmica, consiste en la diversi-

dad del trabajo del hombre. Sin hablar ya de las funciones psíquicas, los movimientos más mecánicos del ser humano no pueden, por su variedad, ser superados prácticamente por ningún sistema mecánico. Esta variedad y el gran número de movimientos da al trabajo humano, durante su empleo, la posibilidad de producir simultáneamente todas las transposiciones a las que obedece la conservación de la cantidad sobrante de energía, por ejemplo, llevar a cabo toda una larga serie de trabajos agrícolas, etc. A esta variedad de movimientos con la misma máquina del organismo del ser humano se debe la productividad comparativamente enorme del trabajo humano. Por cierto, esta cuestión cobrará toda su importancia cuando analicemos los hechos relacionados con el uso del trabajo; sin embargo, ahora, mientras estamos hablando del origen de la capacidad para el trabajo, la suma de los diversos movimientos del ser humano está sometida a las mismas leyes que el trabajo monótono de la máquina de vapor o de cualquier otra máquina.

Volviendo al origen de la energía en el ser humano, no podemos dejar de mencionar aquí la necesidad de satisfacer algunas necesidades psíquicas que también deben ser incluidas en el presupuesto energético que consume el ser humano. Es evidente que cuanto más importante es el desarrollo del hombre, mayor lugar ocupan las necesidades psíquicas en su presupuesto.

Hasta el momento no se ha logrado definir cómo se relacionan las magnitudes especiales de la energía indispensable para satisfacer los distintos aspectos de la vida humana, con el valor global de la energía. Por ello, recurrimos a un método indirecto de definición, muy inexacto ciertamente, pero de momento suficiente para nuestros objetivos, ya que no tenemos el valor de darle una gran importancia a nuestro cálculo desde el punto de vista de su exactitud y aportamos valores sólo aproximativos para ilustrar mejor nuestros argumentos. Queremos resaltar el hecho de que en la mayor parte de los países civilizados la gente que no vive en la pobreza, pero que tampoco es rica, gasta en su alimentación cerca de la mitad de sus ingresos. La vivienda, las prendas de vestir, la satisfacción de las necesidades psíquicas constituyen todas juntas la otra mitad de sus gastos. Ello nos permite calcular con cierta seguridad que si el «equivalente [o coeficiente] económico» del organismo humano [es decir, el cociente entre trabajo efectuado y energía consumida], calculado por la cantidad de sus alimentos o del oxígeno inspirado, es igual a 1/5, teniendo en cuenta todas las fuentes de la energía consumida por las personas para producir la capacidad de hacer un trabajo mecánico y psíquico, este equivalente debe descender hasta 1/10, sobre todo si tenemos en cuenta que el ser humano pasa una parte de su vida sin trabajar, por ejemplo, en la infancia, en la vejez o durante las enfermedades, etc. Repetimos una vez más que no da-

⁵⁹ Tait, l.c., p. 138.