

**EL TRABAJO DEL SER HUMANO
Y SU RELACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN
DE LA ENERGÍA**

EL TRABAJO DEL SER HUMANO Y SU RELACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA*

por S. A. Podolinsky

1. ¿Qué es la energía? Su conservación y su dispersión

El trabajo del ser humano y de los animales a cuyas acciones podemos aplicar el concepto de trabajo, es uno de los numerosos aspectos de la manifestación de la energía mundial global. Por muy diversos y contradictorios que sean actualmente los conceptos de trabajo, esperamos que en ese aspecto general nuestra definición no halle objeciones. Nuestro objetivo consiste en intentar, a partir de esta posición global, explicar el significado de las condiciones que acompañan el origen del trabajo, presentar sus principales manifestaciones en la vida de los organismos y mencionar las consecuencias de la utilización del trabajo, es decir las consecuencias de las acciones de los seres y animales que trabajan sobre el entorno natural. El presente artículo no es más que una introducción a dicho trabajo, y, por ello, dichas cuestiones serán tratadas únicamente bajo el aspecto más general.

Para hacernos entender mejor, es preciso que empecemos por hacer un breve esbozo del estudio de la energía, los tipos de energía, sus transformaciones mutuas y la disipación universal de la energía. Con la palabra *energía* de cualquier sistema de cuerpos, la ciencia moderna entiende el conjunto de aptitudes de los cuerpos de dicho sistema para efectuar cualquier tipo de acciones. *La energía total de un sistema de cuerpos es una magnitud invariable para todos los estados en los que dicho sistema pueda estar sucesivamente mediante acciones mutuas entre sus distintos puntos.* La energía total de cualquier sistema finito es una magnitud finita¹.

* Traducción de la versión rusa publicada en la revista *Slovo* en 1880.

¹ Véase Verdet, *Théorie mécanique de la chaleur*. T. I, pp. 4-6.

Teniendo en cuenta que todas las acciones de los cuerpos obedecen a una de las fuerzas físicas, la energía constituye, por tanto, la suma de todas las fuerzas físicas que están contenidas en un determinado sistema de cuerpos. Por regla general, se acepta la existencia de siete fuerzas físicas distintas: el calor, la luz, la electricidad, el magnetismo, la afinidad química, las fuerzas de las partículas y la gravitación universal². La suma de estas siete fuerzas, contenidas en cualquier sistema aislado de cuerpos, es decir un sistema que no se somete a ninguna influencia externa, es igual a la energía de ese sistema y constituye una magnitud absolutamente invariable. Un ejemplo de sistema aislado puede ser el Universo, cuya cantidad de energía es un valor siempre invariable. La ley de la conservación de la energía, en realidad, no es sino la reciente generalización de una ley mecánica conocida desde los tiempos antiguos, cuyo principio fue sentado ya por Huygens en su hipótesis de que el centro general de la gravedad de un grupo de cuerpos que oscilan bajo la influencia de la gravedad en torno a un eje horizontal *puede elevarse hasta su altura inicial, pero no por encima de ella*³. Esta posición, entendida al principio como un axioma, se convirtió después en el germen de la idea general de la que *Leibnitz* desarrolló el principio de la conservación de la fuerza viva. *Lagrange* dio un aspecto todavía más general a dicha ley, al expresarla en la forma según la cual la suma de las acciones virtuales (posibles) de un sistema que se halla en equilibrio, es igual a cero⁴.

Dicha ley, que se formuló inicialmente para la mecánica, es decir, para un movimiento perceptible de forma inmediata por parte del ser humano, fue aplicada posteriormente a todos los tipos de energía en cuanto, con el descubrimiento de la teoría mecánica del calor, se demostró la capacidad de transformación de todas las fuerzas físicas, de todas las formas de energía, de unas en otras. Esa amplia generalización fue sustancialmente facilitada porque actualmente todas las fuerzas físicas ya se han reducido o se reducen a distintas formas de movimiento para las que se pueden aplicar totalmente las leyes elaboradas por la mecánica. El calor, la luz, la electricidad, el magnetismo, la afinidad química y las fuerzas parciales ya no nos aparecen sino bajo el aspecto de movimientos oscilatorios u otros de las pequeñas partículas de las sustancias. Tan sólo la gravedad sigue estando a un lado, ya que muchos la consideran todavía como una propiedad fundamental de la materia, capaz de manifestar su acción a distancia, de forma inmediata, contrariamente a las leyes mecánicas que conocemos actualmente. Pero también para la gravedad ya existen hoy teorías que explican de forma más o menos satisfactoria todos sus fenómenos median-

te la hipótesis del movimiento de las partículas más pequeñas y de sus impulsos contra los cuerpos que gravitan. Esta es, por cierto, la conocida teoría de Le Sage⁵. Tarde o temprano, una de esas teorías será probablemente aceptada, y entonces, según la atinada observación de Tait⁶, deberemos reconocer que todos los tipos de energía son cinéticos en fin de cuentas, es decir, que constituyen un movimiento. En los distintos tipos de energía, estos movimientos difieren entre sí, probablemente, sólo por las velocidades y las curvas de los recorridos de las partículas móviles de la sustancia. Sin embargo, desde un punto de vista práctico, todavía sigue siendo favorable mantener la diferencia que existe entre los conceptos universalmente admitidos de *energía cinética* y *energía potencial*. Dicha diferencia, que no es en absoluto importante si en realidad todas las manifestaciones de la energía se basan en el movimiento de las partículas más pequeñas de la materia, es muy importante *para nosotros* porque en los casos en que tenemos una energía cinética, el movimiento es inmediatamente accesible a *nuestra sensación*, por ejemplo, en el agua que fluye, un alud que cae, una máquina de vapor en funcionamiento, un artefacto lanzado desde un arma, en el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra, etc. Por el contrario, en la energía potencial el movimiento de la materia si bien también existe todavía no ha cobrado forma, no es accesible a nuestra sensación a pesar de que puede hacerlo en condiciones conocidas. Un alud colgado sobre un precipicio, una máquina de vapor, caliente, pero que todavía no funciona, un cañón cargado, los alimentos del hombre, que todavía no se han convertido en contracción muscular durante un trabajo, son ejemplos de la energía potencial.

Ya hemos dicho que la suma de la energía de todo el universo es una magnitud totalmente invariable, pero no podemos decir lo mismo sobre las distintas partes del universo. No vamos a entrar todavía en el análisis de las teorías del átomo, sino que, partiendo de que algunos cuerpos celestes emiten distintos tipos de energía en gran cantidad por el espacio a otros cuerpos celestes, podemos concluir que esos cuerpos celestiales, los *astros*, contienen comparativamente más energía que el espacio universal y que los cuerpos celestes, *planetas* y *satélites*, que reciben energía bajo la forma de rayos de calor, de luz y químicos, de magnetismo, etc., desde los astros más cercanos. Es indudable que esta transmisión constante de energía desde los lugares que poseen grandes reservas, hacia otros lugares donde abunda menos, deberá, al cabo de un período muy largo de tiempo, provocar un equilibrio universal de la energía.

² Sechi, *La unidad de las fuerzas*, p. XXX.

³ Dühring, *Historia crítica de los principios generales de la Mecánica*, 1873, p. 120.

⁴ Dühring, 1, p. 318.

⁵ Le Sage, Lucrèce Newtonien, Mémoires de Berlin, 1782 y Prévost. Deux traités de Physique mécanique, Ginebra, 1818.

⁶ Tait, Sobre los más recientes logros de los conocimientos físicos. 1877, p. 328

Pero eso no es todo. No debemos olvidar que todas las oscilaciones con las que se realiza el equilibrio de la energía entre los distintos cuerpos celestes y el espacio del universo, van acompañadas siempre de la transformación de un tipo de energía en otro. La luz se transforma a menudo en una acción química que a su vez suele producir luz y calor. Pero no todos los tipos de energía se convierten en otros con la misma facilidad, y cada vez que se produce dicha transformación, aparece en la energía una tendencia a pasar, por lo menos parcialmente, de una forma fácilmente variable, por ejemplo, el movimiento, a una forma que varía con dificultad, por ejemplo, el calor.

De este modo, la energía del universo pasa constantemente de formas fácilmente transformables a otras formas más constantes, y, por consiguiente, la posibilidad de que se produzcan transformaciones en la energía disminuye de forma constante. Después de un largo período de muchísimos siglos, toda la energía adoptará una forma que no será capaz de transformarse, que consistirá en un calor que se extiende de forma equilibrada por todo el universo. En este caso, cualquier vida y cualquier movimiento percibido por nosotros deberán, por lo visto, interrumpirse ya que sabemos que para la transformación del calor en cualquier forma de energía, es totalmente indispensable tener cuerpos de distinta temperatura⁷. Esa tendencia de la energía universal por alcanzar el equilibrio se llama *dispersión de la energía* o, según Clausius, *entropía*⁸. Con ese nombre, Clausius entiende la magnitud de la energía ya transformada, es decir, la que está en unas condiciones en las que ya no realiza transformaciones inversas. Un ejemplo de ello es el calor, disperso en el espacio del universo en reposo. Ello permite entender los principales enunciados de Clausius: 1) la energía del universo es constante; 2) la entropía del universo tiende a alcanzar un máximo⁹.

La teoría de la dispersión de la energía, expresada por Thomson y Clausius, suscitó críticas por parte de Rankine¹⁰, quien propuso que el universo puede estar rodeado por todas partes por un espacio totalmente vacío, desde cuya superficie cóncava el calor difundido del universo se reflejará y luego se reunirá en focos con una temperatura más alta, capaz de provocar en el universo una serie de transformaciones inversas. A lo que objetó Clausius, demostrando que el calor reflejado, incluso concentrado en un foco, no puede jamás superar la temperatura de su fuente¹¹. De este

modo, hasta que no surjan nuevas objeciones, podemos considerar que la ley de la dispersión de la energía está tan demostrada como la ley de su conservación.

Entendemos que si este es el destino de toda la energía que posee una alta temperatura, resulta fácil imaginar lo que sucede también con el movimiento que percibimos en el Universo. Todo el espacio del mundo está lleno de materia, aunque es muy poco frecuente, pero suficiente para al final poder equilibrar cualquier diferencia en el movimiento, al igual que intenta equilibrar cualquier diferencia de temperatura. De este modo, el mundo debe convertirse en una masa, calentada por igual y totalmente incapaz de producir un trabajo perceptible porque esto último es sólo posible si existen diferencias de temperatura.

Por tanto, la energía se conserva plenamente sólo en un sentido puramente mecánico. Pero esta energía equilibrada ya no es capaz de iniciar distintos fenómenos, como, por ejemplo, no es capaz de mantener la vida de los organismos. Existen no por la energía en sí, sino por sus transformaciones, y en la energía, convertida en un calor equilibrado, no existe ni el más mínimo motivo para el inicio de cualquier proceso, aunque sea vital. La energía transformada aparece como un resto inútil de la actividad del mundo, que se va acumulando cada vez más de año en año. En la actualidad, la acumulación de dicho resto no es todavía muy evidente, pero nadie puede asegurar que con el tiempo no sea muy obvia también para nuestra percepción¹².

Para ilustrar claramente que, si existe un total equilibrio de la temperatura y de las demás fuerzas físicas (es decir, la saturación de la afinidad química, etc.), no puede manifestarse ningún movimiento, citaremos el siguiente razonamiento de Poisson que demuestra con claridad que ningún sistema de cuerpos que se hallen en equilibrio puede salir de él si todas las influencias externas a dicho sistema son eliminadas por completo. El animal, por mucho que lo intente, no puede nunca hacer variar su centro de gravedad con la sola ayuda de su voluntad, sin ningún punto de apoyo externo. El ser humano y el animal pueden hacer descender o elevar su centro de gravedad en posición vertical, apoyados en el suelo. Pueden también moverse en la dirección horizontal con la ayuda de un rozamiento sobre su superficie, pero cualquier desplazamiento se hace imposible si se colocan en un plano sumamente liso donde la resistencia de la fricción fuese totalmente imperceptible¹³.

Tras haber sentado esos puntos generales, podemos ya entrar en el tema de la distribución de la energía en nuestro planeta. Ya en su propio

⁷ W. Thomson, *Sobre la tendencia general de la naturaleza a la dispersión de la energía*. Citado por Tait, I, p. 19.

⁸ Clausius. *Théorie mécanique de la chaleur*, 1868. T. I, p. 411.

⁹ Clausius, l.c., T. I, p. 420.

¹⁰ Rankine, *Philosoph. Magaz.* Serie 4. T. IV.

¹¹ Clausius, l.c., T. I, p. 346.

¹² Balfour-Stuart. *Conservation de l'énergie*, 1875, p. 157.

¹³ Poisson. *Traité de mécanique*. T. II, p. 451.

origen, la Tierra, si aceptamos la teoría de Kant-Laplace sobre la formación de los cuerpos celestes, ha recibido unas reservas comparativamente pequeñas de energía transformable. La proximidad de la Tierra del Sol, su pequeño volumen y su importante densidad (exactamente, 5,5), es decir, una densidad que supera con mucho todos los planetas superiores y el propio Sol, indican con claridad que la Tierra se ha separado relativamente más tarde de la nebulosa solar. Sin embargo, hasta ahora, la Tierra ya se ha enfriado mucho más que los planetas superiores. La gran densidad de la Tierra ha contribuido a ello de dos formas. En primer lugar, indica que la Tierra está compuesta por metales que, como bien es sabido, poseen una baja capacidad térmica. En segundo lugar, nos obliga a suponer que la Tierra se ha originado a partir de las partes más densas, es decir, más frías, del Sol. Por otra parte, tenemos derecho a suponer que la sustancia a partir de la que se han originado los planetas superiores, se hallaba en mayor estado de disociación que la materia que dio origen a la Tierra. Por ello también, la Tierra se enfrió mucho más aprisa. Por las experiencias de *Sainte-Claire-Deville* sabemos, por ejemplo, que, para llevar un gramo de agua a una temperatura de 2.500°, se necesitan tan sólo 1.680 unidades térmicas, mientras que para la formación de un gramo de vapor de agua de hidrógeno y oxígeno, se desarrollan 3.833 unidades térmicas¹⁴. Ello nos permite entender que un gramo de agua disociada contiene $3.833 - 1.680 = 2.153$ unidades térmicas más que un gramo de vapor de agua a una temperatura de 2.500°. Si, por lo que acabamos de decir, tenemos los fundamentos suficientes para suponer que los planetas superiores recibieron, durante su alejamiento del Sol, más materia disociada que la Tierra, es fácil entender por qué se enfriaron menos aunque se separaron antes del Sol y han recibido desde entonces menos calor de los rayos que la Tierra. Por último, el pequeño tamaño de la Tierra es también una causa muy importante para explicar su rápido enfriamiento ya que se entiende que un cuerpo que tiene una gran superficie respecto a su masa, se enfría más aprisa.

Sin embargo, es probable que la parte interior de la Tierra siga estando compuesta por una sustancia fundida. Según los cálculos de W. Thomson¹⁵, un aumento de la temperatura equivalente en toda la superficie de la tierra, en promedio, a un grado por 100 pies de profundidad, permite suponer que hace cerca de 10 millones de años la superficie de la Tierra ya había tenido tiempo de endurecerse o había empezado a endurecerse, y durante relativamente pocos miles de años después de dicho endurecimiento, la raíz ya se endureció tanto que pudo, por lo menos en algunos

lugares, servir de morada para los seres vivos en la forma en que los conocemos actualmente. El grado del aumento de la temperatura cuando se baja hacia el interior de la Tierra era entonces equivalente a 1° por cada 6 ó 10 pulgadas, aproximadamente, circunstancia que no pudo tener una influencia perjudicial sobre la vida de las plantas.

Hacia ese mismo tiempo debe remontarse el principio de la predominancia de la energía de la radiación solar en la superficie terrestre sobre la propia energía de la Tierra. Esta última energía, cuando menos, sobre la superficie de la Tierra que es la que más nos interesa, ya se encontraba en un importante grado de entropía, es decir, que estaba distribuida de forma bastante equilibrada o, dicho de otro modo, dispersa. Es cierto que si imaginamos que el Sol se hubiera apagado cuando la Tierra se cubrió con la corteza de sustancia dura, y analizamos qué tipos de energía existentes hoy en día en la Tierra han proseguido su acción, cuáles de los tipos de energía que existen actualmente en la Tierra continuarían su acción, veremos que han quedado muy pocos. La única fuente de energía sería la parte interna fundida de la Tierra, pero esa energía también se hubiese dispersado mucho más aprisa que ahora. Sin embargo, algunos tipos de energía podrían proseguir su acción durante cierto tiempo, como, por ejemplo, el magnetismo, si suponemos con Zöllner que el magnetismo de la Tierra depende de las corrientes de metal fundido en el interior de la Tierra¹⁶. Además, mucho antes del enfriamiento de la parte interna de la Tierra, podrían continuar los terremotos, las erupciones de los volcanes y pequeñas corrientes atmosféricas y hubiesen podido existir fuentes calientes en la proximidad de los volcanes y de las fuentes termales. Pero es probable que a eso se limitasen y durante un período de tiempo bastante corto todos los fenómenos de la distribución desigual de la energía sobre la superficie de la Tierra. Las fuerzas y fenómenos físicos que existen actualmente, que se derivan de ellos, ya no se producirían. Incluso las mareas marinas bajo la influencia de la Luna y del Sol apagado, se interrumpirían probablemente porque los mares se convertirían en hielo en toda su profundidad. Todos los fenómenos meteorológicos serían eliminados por la ausencia de vapor de agua en la atmósfera, casi totalmente tranquila. En la superficie de la Tierra, las afinidades químicas de todas las sustancias se encuentran, con escasas excepciones, en estado de saturación, es decir, que su energía ya se ha dispersado. La baja temperatura interna de la Tierra, desprovista de rayos de luz y de rayos químicos, no sería capaz de provocar los procesos inversos, las reducciones químicas, que constituyen la esencia de la vida vegetal. El suelo se quedaría desnudo e inactivo desde el punto de vista químico. Tal vez quedaría (pronto veremos que entonces es probable que

¹⁴ Henri Sainte-Claire-Deville. Compt. Rend. d. l'Acad. d. Scienc. T. LVI, p. 200 [«unidades térmicas» equivale en todo el texto a cal. o kcal. según el contexto, N. del E.].

¹⁵ Tait, I.s. p.153.

¹⁶ Zöllner, *Ueber den Ursprung des Erdmagnetismus*.

una importante parte del oxígeno del aire se hallase unido al carbono), una afinidad no saturada del oxígeno en la atmósfera, pero a la baja temperatura que sería predominante, no podría actuar sobre el nitrógeno, al igual que actualmente casi no lo hace, ni todavía menos sobre otros cuerpos ya oxidados o totalmente saturados. Por último, es sumamente probable que, sin el calentamiento del Sol, la energía de los gases de nuestra atmósfera se dispersaría tanto en el espacio que podrían convertirse en cuerpos duros. En una palabra, si el Sol interrumpiese su generosa irradiación, reinarían en la Tierra la oscuridad, el frío, la ausencia de vida y la casi total ausencia de movimiento de cualquier índole.

Pero el Sol sigue ofreciéndonos una enorme cantidad de energía no transformada, y sus reservas son todavía muy grandes. Posteriormente pensamos describir con más detalles las teorías de la estructura del Sol, pero aquí presentaremos tan sólo algunas conclusiones. Un metro cuadrado de la superficie solar irradia, según Secchi¹⁷, 5.440.640 kilográmetros o 70.642 caballos de fuerza (Hp). Son suficientes unos cuantos metros de superficie solar para poner en movimiento todas las máquinas del globo terrestre. 470 quintillones de caballos de vapor constituyen el trabajo total del Sol. Según los cálculos de W. Thomson, a partir de los datos de Coulier y Hertel, el calor de la radiación solar corresponde aproximadamente a 7.000 caballos de vapor por cada pie cuadrado de la superficie. Por tanto, toda la superficie solar pierde cada año cerca de 6×10^{30} unidades térmicas¹⁸. Bastaría con la energía química que sale del Sol hasta la Luna para producir en un minuto la unión de 4,5 millones de kilómetros cúbicos de una mezcla de cloro con hidrógeno. La energía química que se difunde del Sol hacia todas las partes del Universo tiene que ser 2.200 millones de veces mayor porque la Tierra, si se considera desde el Sol, aparece únicamente en un ángulo de 17,5 segundos¹⁹. Si aceptamos la teoría más admitida actualmente que explica la fuente del calor solar por su propia condensación, hallamos que son necesarios 18.267 años para disminuir el diámetro visible del Sol en un segundo y 3.830 años para enfriar su temperatura en un grado si, como es de esperar, la mayor parte de la materia está en el Sol en un estado químico indiferente, es decir, disociado²⁰.

Hemos aportado esas cifras únicamente para demostrar que la disminución de la energía transformable sobre la superficie de la Tierra se produce tan lentamente y que las reservas para recibirla en el futuro son tan grandes que su disminución no puede en un futuro próximo ejercer una

influencia negativa irreversible en la vida de los seres humanos. Pero ello no significa que podamos considerar la distribución de la energía transformable sobre la superficie de la Tierra como totalmente favorable y totalmente satisfactoria para la vida humana. Por el contrario, pensamos que la posibilidad de una distribución más favorable de dicha energía está, por lo que sabemos, en las manos del propio ser humano.

2. La energía transformable en la Tierra

Es preciso que pasemos ahora a analizar los tipos de energía transformable que están ahora distribuidos en la Tierra.

1. En primer lugar, figura por su magnitud la energía de la rotación de la Tierra alrededor del Sol y alrededor de su eje. Ambos movimientos son formas de una energía todavía muy transformable (según Thomson, de un orden muy elevado), precisamente del movimiento mecánico. Es conocido el cálculo según el cual, si la Tierra se detuviese de pronto en su rotación alrededor del Sol, se desarrollaría una cantidad de calor que equivale a la cantidad de calor producido por la combustión de una bola de carbón que supera 14 veces la masa de la Tierra. Asimismo es de gran importancia la energía de la rotación de la Tierra alrededor de su eje. Sin embargo, ambos movimientos no ejercen casi una influencia inmediata sobre la distribución de la energía en la superficie de la Tierra. En lo que se refiere a la energía de la rotación de la Tierra alrededor de su eje, no es totalmente cierto porque sabemos que esta energía se convierte parcialmente en calor a través de la fricción sobre la masa de agua que queda, bajo la influencia de las mareas, por el movimiento de la Tierra, cuya temperatura aumenta un poco con ello, mientras que el movimiento de la Tierra se hace más lento, aunque en un valor insignificante²¹. Utilizando la fuerza de la marea para accionar las máquinas (por ejemplo, los molinos), hacemos reservas de esta fuerza mientras la ola de la marea sube o baja. Mantendremos una parte del agua a una altura determinada, esperamos el momento de la retirada de la marea y luego sacamos provecho de su caída. Si siguiésemos actuando de este modo durante un largo período de tiempo y en grandes extensiones, encontraríamos que ello puede influir en la disminución paulatina de la velocidad de rotación de la Tierra²². Apuntaremos también, como uno de los pocos ejemplos de la utilización industrial de la fuerza de las mareas, la propuesta de Malle²³ que se fundamenta en que las

¹⁷ Secchi. *Le Soleil*. París, 1875. T. II, p. 258

¹⁸ Tait, l.c., p. 144

¹⁹ Secchi. *Le Soleil*, T. II, p. 324.

²⁰ Secchi, l.c., T. II, pp. 273-277. [La fusión nuclear, origen de la energía solar, no fue descubierta hasta la década de 1930. N. del E.]

²¹ La primera idea sobre dicha influencia de la marea pertenece a Kant. Véase su *Theorie des Himmels*. Koenigsberg, 1755. Secchi. *Le Soleil*. París, 1875. T. II, p. 258

²² Tait, l.s., p. 150.

²³ Comptes-Rendus. LI, p. 762.

desembocaduras donde el movimiento de las mareas es fuerte, el cieno y los cantos rodados no producen obstrucciones en el cauce porque el movimiento de una marea fuerte los arrastra mar adentro. Las desembocaduras de muchos ríos de Inglaterra han sido ya excavadas para utilizar el trabajo de la marea, y Malle propone aplicar también el sistema en Francia. Estos ejemplos nos permiten ver que hasta ahora la rotación de la Tierra alrededor de su eje se aplica todavía poco como fuente de fuerza motriz en su superficie.

2. No menos importante es el papel que desempeña el calor interno de la Tierra. En los casos en que se manifiesta todavía con una fuerza importante (es decir, durante un terremoto y durante las erupciones volcánicas), su actividad presenta un carácter demasiado casual e impreciso para servir de fuente de energía que pueda ser una parte importante del proceso de la transformación energética en la superficie de la Tierra, proceso que requiere un carácter de gran constancia y orden. Por ese motivo, los terremotos y las erupciones volcánicas son, en la superficie de la Tierra, un elemento perturbador, destructor, inesperado, que no se somete a cálculos algunos en la distribución de la energía, y todavía menos a cualquier tipo de aplicación industrial.

Si relacionamos el magnetismo terrestre a las manifestaciones de la energía contenida en el interior de la Tierra, es, por supuesto, una fuerza que no se puede dejar de tener en cuenta ya que desempeña también un papel práctico en la navegación, en la fabricación de los aparatos científicos, etc. En todo caso, sin embargo, la magnitud de dicha fuerza es muy insignificante respecto a la cantidad total de energía que se halla constantemente en intercambio sobre la superficie de la Tierra.

Las fuentes termales son una cantidad de energía transformable pequeña, pero de distribución bastante fácil. Su calor puede servir para algunos fines técnicos, como, por ejemplo, para calentar las viviendas, incluso para cocinar, y de este modo ayudar indirectamente a conservar la energía transformable sobre la superficie de la Tierra. A su vez, el calor de las fuentes termales es demasiado poco importante para ser él mismo capaz, sin añadir externamente energía, de convertirse en una forma de movimiento mecánico. En todo caso, conocemos casos de aplicación de las fuentes termales como fuerza motriz, aunque dicha aplicación es sólo posible en pequeñas cantidades.

3. Una afinidad química no saturada, exceptuando la afinidad libre del oxígeno de la atmósfera, casi no existe en la superficie de la Tierra. Dentro de la Tierra, existen todavía grandes masas de metales libres, azufre y otras sustancias que poseen la energía química suficiente, pero su acción no se observa en la superficie de la Tierra o ya ha sido mencionada

en el párrafo anterior, por ejemplo, cuando hemos hablado de las erupciones volcánicas, de los terremotos, etcétera.

4. Una de las formas de energía menos transformadas, es decir, más útil en el sentido humano del término, que puede producir una cantidad importante de trabajo mecánico durante su transformación, es el movimiento del aire, o viento. Pero no nos es difícil demostrar que el movimiento del aire no es más que una parte de la energía solar sometida a una transformación inversa. Para producir la fuerza viva del viento, hay que emplear una cantidad varias veces mayor de energía solar, una parte importante de la cual desciende en este proceso a un grado todavía menos convertible, dispersándose en el espacio. No puede ser de otro modo ya que la energía inferior, el calor disipado del Sol, no puede nunca, según la ley de la dispersión de la energía, convertirse totalmente en energía superior, en movimiento del aire. Pero una parte del calor transformado en movimiento se pierde porque el viento no es en esencia sino una consecuencia del esfuerzo por equilibrar las temperaturas. Es cierto que así una parte de la energía solar se transforma en un trabajo mecánico muy favorable, pero en cambio se dispersa irreversiblemente. No tenemos en cuenta otras fuentes del movimiento del aire, aparte del calor del Sol, porque los movimientos que describen son comparativamente muy insignificantes.

5. Lo que hemos dicho sobre la fuerza motriz proporcionada por los vientos puede también ser aplicado a la fuerza de las corrientes de agua, y en general a la fuerza del agua de las cascadas. Es cierto que el agua, al caer, por ejemplo sobre la rueda de un molino, desde una altura, proporciona un porcentaje de trabajo útil que no da ni una máquina de vapor ni una máquina electromagnética, ni siquiera el organismo mejor estructurado de un animal de carga o de un ser humano. Pero no debemos olvidar la enorme cantidad de energía solar necesaria para subir con la evaporación el agua a una altura desde la que, al caer, proporciona una importante cantidad de trabajo útil.

6. Lo anteriormente dicho nos permite observar que, a pesar de la enorme cantidad de energía que recibimos del Sol, la superficie de la Tierra no es rica no sólo en tipos de energía muy transformable, como, por ejemplo, el movimiento mecánico, la afinidad química libre, sino incluso en calor sencillo. La afinidad química libre, como hemos dicho, casi no se encuentra en la superficie de la Tierra e incluso cerca de la superficie, exceptuando un tipo de sustancias cuya energía, sin embargo, no se puede denominar energía propiamente formada en la Tierra. Hablamos de la afinidad química libre contenida en el combustible de origen orgánico. La cantidad de dicho combustible es relativamente muy grande. Según un

cálculo aproximado, los estratos británicos tienen cerca de 190.000.000.000 toneladas de carbón de piedra, y se dice que los de Norteamérica contienen hasta 4.000.000.000.000 toneladas²⁴. Pero dicha cantidad, al igual que las enormes masas de otros combustibles orgánico como, por ejemplo, la turba, el petróleo, etc., se han formado a partir de plantas que en distintos períodos habían cubierto la superficie de la Tierra, con la ayuda de la energía que se recibe del Sol. Se supone que gracias a los rayos solares las plantas fueron capaces, durante muchos siglos, de transformar una sustancia saturada y desprovista de energía convertible, el ácido carbónico, en reservas de carbón que posee una gran cantidad de dicha energía²⁵. Al mismo tiempo, bajo la influencia de la misma energía solar, el oxígeno de la atmósfera se liberó del carbono que llevaba unido y contiene actualmente también una masa de energía transformable que constituye la base para hacer posible la existencia de los organismos superiores, es decir, de los animales y del ser humano.

7. Por fin, debemos recordar también la energía transformable contenida en las plantas, los animales y los seres humanos vivos. Por el momento, nos basta con reconocer que es sólo un producto de la energía que recibimos del Sol, y luego pasaremos a las condiciones generales para la conservación de la energía.

3. La conservación de la energía

Conocemos ya los datos con los que esperamos obtener los fundamentos para determinar la importancia del trabajo en la distribución mundial de la energía. Retomemos la Tierra en el momento en que ya se había enfriado tanto que su superficie estaba cubierta por una corteza que no permitía que el calor de su interior fundido manifestase una fuerte acción en la superficie. Cuando el enfriamiento de la Tierra alcanzó ya un grado tan importante que el agua disociada se convirtió en vapor, y más tarde una gran parte del vapor se asentó bajo forma de agua, la cual, arrastrando las sales asentadas anteriormente al agua, formó los mares en las profundidades de la corteza terrestre, la mayoría de los procesos químicos

²⁴ *Edinburgh Review*, 1860, «Campos de carbón de Norteamérica y Gran Bretaña», pp. 88-89.

²⁵ En el Congreso de la Sociedad británica para el desarrollo de las ciencias, reunido en otoño del presente año [1878, cuando Podolinsky redactaba este texto], Sterry Hunt propuso una teoría global y sumamente interesante para explicar los cambios climáticos durante los períodos geológicos. Dicha teoría se basa principalmente en la hipótesis de que el carbono, contenido ahora en las reservas del carbón de piedra, se hallaba antes en la atmósfera bajo forma de ácido carbónico. Véase *Revue Scientifique*, n° 22, 30 de noviembre de 1878. [«Ácido carbónico» equivale en todo el texto a dióxido de carbono o anhídrido carbónico. N. del E.]

ya se habían llevado a cabo sobre la superficie terrestre. La afinidad química estaba saturada aproximadamente tanto como en la actualidad, si no tenemos en cuenta la vida vegetal. Gracias a la influencia de la vida vegetal, la saturación de la afinidad química no alcanza ahora probablemente el nivel de entonces, ya que, según la hipótesis que hemos planteado, todo el carbón que se encuentra en los núcleos de la Tierra, estaba entonces unido al oxígeno del aire. Sabemos que ahora las plantas extraen su carbono del ácido carbónico del aire, y carecemos de fundamentos para suponer que en el período del carbón actuasen de otro modo. Por tanto, es lícito pensar que la energía de la afinidad no saturada fue, al principio de la vida orgánica, muy escasa sobre la superficie de la Tierra, y la energía transformable, que se conservaba todavía en su interior, perdió su acción cada vez más con el constante aumento del grosor de la corteza terrestre. Por aquel entonces, la Tierra recibía tal vez un poco más de energía solar que ahora, pero en cambio dispersaba su energía mucho más aprisa que ahora. El principal motivo de ello es muy sencillo: la Tierra era entonces mucho más caliente y por eso emanaba más calor, que era un calor de alta temperatura que se transformaba fácilmente en trabajo mecánico, de la forma más inútil, en el espacio. La gran cantidad de energía de los rayos solares aumentaba muy poco la energía transformable de la Tierra, y no es difícil entender por qué: los rayos químicos del Sol, que no encontraban en la superficie cuerpos sobre los que pudiesen actuar como lo hacen ahora, con la ayuda de las plantas, es decir, descomponiendo los compuestos saturados y convirtiéndose sólo en parte en energía transformable, se reflejaban entonces y salían hacia el espacio. Lo mismo sucedía con los rayos de la luz. Los rayos térmicos eran absorbidos en la misma medida que la superficie de la Tierra los devolvía al espacio, sin provocar un aumento de la energía transformable sobre la superficie de la Tierra. Exceptuando el movimiento del aire caliente y del agua, elevada por la evaporación, la energía de la radiación solar no se convertía en la Tierra en energía transformable como lo vemos actualmente en las arenas yermas, desprovistas de vegetación, del Sahara o en los hielos que rodean los polos. Si no tenemos en cuenta el calor del interior de la Tierra, la cantidad de la energía transformada recibida del Sol, era en aquella época mucho más escasa que ahora. Es cierto que, si atribuimos a la superficie de la Tierra las capas que contienen carbón de piedra (a lo que tenemos derecho teniendo en cuenta la formación de dichas capas sobre la superficie), tenemos ahora una inmensa reserva de energía fácilmente transformable. Dicha reserva está formada por afinidad no saturada de una enorme masa de carbono, por una parte, y por la afinidad no saturada del oxígeno de toda la atmósfera, por otra. En los tiempos en que todavía no había vida sobre la superficie de la Tierra, cuando, según toda probabilidad, el carbono del carbón de piedra actual formaba con el oxígeno de la atmósfera actual un compuesto saturado

(es decir, desprovisto de energía transformable), el ácido carbónico, es indudable que el presupuesto global de energía transformable de la superficie de la Tierra era inferior al actual. Hemos tomado el carbón de piedra como ejemplo. En la historia del globo terrestre podemos buscar otras analogías a dicho fenómeno, por ejemplo, las capas de turba, las minas de asfalto, los yacimientos de petróleo y distintos yacimientos de minerales de origen orgánico.

Vamos a analizar la marcha general de los fenómenos desde entonces hasta nuestros días. Al establecer el presupuesto energético de la superficie de la Tierra, la energía interna de la Tierra desempeña un papel menos importante cuanto más cercana en el tiempo está de nosotros. Se recibe energía solar, aunque paulatinamente en cantidad cada vez más decreciente. Es evidente que para que, cuando disminuyen las fuentes de energía en la superficie de la Tierra y en las capas que están debajo de ella, se pueda producir una acumulación de la energía transformable, es indispensable que se lleve a cabo un proceso de conservación de la energía en la superficie de la Tierra, un proceso inverso a la dispersión o incluso un proceso de transformación de la energía constante (calor) en una forma superior, más transformable en movimiento mecánico, potencial o cinético.

Podemos decir sin temor a equivocarnos que en la superficie de la Tierra recibimos la energía del Sol bajo una forma no muy transformable, pero tampoco demasiado estable. La alta temperatura, la luz, los rayos químicos son tipos de energía que, es cierto, sufren grandes pérdidas en el proceso de dispersión, pero que se transforman parcialmente en la superficie de la Tierra en formas de energía superiores, más transformables, como son: el trabajo mecánico de las máquinas, la contracción muscular y, probablemente, la actividad psíquica. En la actualidad, la superficie de la Tierra, aunque con una gran pérdida, incluso aumentando un poco los gastos anuales solares, eleva una parte de la energía solar que ya ha bajado en la escala, a las formas superiores, las más transformables, como únicamente es capaz de adoptar la energía.

Es indispensable imaginar con suma claridad toda la dificultad de la transformación de las formas inferiores de la energía en formas superiores para entender cómo, en toda esa enorme obtención de energía solar por parte de la Tierra, predomina en realidad tanta necesidad de las formas superiores de energía. Pero en cambio es cierto que los métodos con los que la energía solar puede ser transformada en movimiento mecánico son sumamente escasos. Este es el más importante de ellos: *la puesta en movimiento del aire mediante la modificación de su elasticidad, la elevación del agua mediante la evaporación, la disociación química con la ayuda de las plantas, el trabajo muscular de los animales y del ser humano, la invención y*

la construcción de los motores artificiales y de las máquinas con la ayuda del trabajo psíquico y muscular del ser humano y de los animales superiores.

La energía de los rayos solares, al encontrar la superficie de la Tierra ya endurecida, pero todavía no cubierta de vida vegetal, casi se reflejaba como contra una coraza impenetrable. Es evidente que una pequeña parte de los rayos solares era absorbida, pero esa absorción conllevaba un aumento sólo temporal de la temperatura que volvía al espacio por la irradiación en cuanto se interrumpía la acción del Sol. Naturalmente, el calentamiento de la superficie de la Tierra se traducía también en un escaso trabajo mecánico; debido a la dilatación y a la contracción se formaron grietas, etc., pero está claro que estas insignificantes manifestaciones del movimiento mecánico no pueden ser consideradas transformaciones importantes del calor en trabajo.

Los rayos químicos del Sol son demasiado débiles para descomponer los compuestos saturados silíceos, calcáreos y arcillosos que componen la superficie de la Tierra. Se convirtieron parcialmente en calor, o se reflejaron inmediatamente en el espacio. Los rayos de luz corrieron la misma suerte.

El agua y el aire presentan un campo más favorable que la Tierra para la transformación de la energía inferior en energía superior, pero están casi desprovistos de la capacidad de conservar la energía transformada. La acción mecánica de un huracán puede ser enorme. Si se acompaña de una tormenta, gracias a la transformación de una parte de la energía solar en electricidad, su acción mecánica se intensifica con los golpes de las chispas del rayo, pero esta acción se agota por sí sola inmediatamente y dispersa toda su energía inmediatamente, obligándola a caer a un nivel inferior al que fue recibida del Sol. El viento aporta un enorme porcentaje de trabajo mecánico útil, cuando azota cualquier resistencia, como, por ejemplo, la vela de una barca o el aspa de un molino, pero en cambio la reserva de energía superior, contenida en el aire en movimiento, se agota en su mayor parte. En el aire no se reúnen reservas de energía transformable porque en la naturaleza no existen depósitos que puedan llenarse de aire condensado cuya energía se pudiese utilizarse según las necesidades.

El agua es más capaz de conservar la energía transformable que el aire. Es cierto que el agua proporciona, durante su caída, un porcentaje positivo de trabajo únicamente porque, al caer, pierde de una vez toda la energía que tiene acumulada para una altitud determinada, pero en cambio el agua se evapora bajo la influencia de la acción de la energía de los rayos solares y se acumula en depósitos en lugares elevados donde, por su movilidad, obedeciendo a la gravitación, puede ser considerada como que contiene una gran reserva de trabajo mecánico potencial. Sin embargo, debemos reconocer que, en comparación con la cantidad de agua que existe de forma improductiva en la superficie de la Tierra, y respecto a la enorme

cantidad de calor que nos proporciona el Sol, incluso los lagos alpinos y los ríos rápidos presentan una acumulación insignificante de energía. Ello no debe sorprendernos si tenemos en cuenta que la conservación del agua evaporada es algo que se produce sólo casualmente debido a la orografía de la Tierra mientras que la mayor parte del agua cae directamente sobre la superficie de la Tierra bajo forma de lluvia, nieve, rocío, escarcha, en los lugares donde realiza casi todo su trabajo mecánico inmediatamente durante su caída, sin tener la posibilidad de conservar una parte importante para el futuro. Sin embargo, nos hemos detenido en el trabajo mecánico que realizan el aire móvil y el agua porque proporcionan un porcentaje de trabajo obtenido más importante que las máquinas e incluso los animales, lo cual se explica fácilmente si pensamos que su movimiento antes del trabajo es ya una energía de tipo superior a la que se halla en el combustible o en la comida antes de su consumo²⁶.

4. La aparición de los organismos. La importancia de las plantas para la distribución de la energía

De este modo, antes de la aparición de la vida orgánica sobre la superficie de la Tierra, la reserva de la energía transformable era en general poco significativa, pero, lo más importante es que estaba repartida de forma poco equilibrada en las distintas partes de la Tierra y podía entrar en acción sólo en algunas épocas más favorables para ello. La aparición de la vida orgánica sobre la Tierra no sólo cambió en gran parte el aspecto y las propiedades de la superficie de la Tierra, sino también la cantidad y el método de distribución de los tipos superiores de energía.

No vamos a entrar aquí en el análisis de los puntos discutibles que se refieren a la primera aparición de los organismos. Mencionaremos sólo un hecho que es el más importante según nuestro parecer: los rayos químicos del Sol, que no actúan en algunos compuestos, por ejemplo, el ácido carbónico, el amoníaco, etc., adquieren, a la temperatura con la que llegan a la superficie de la Tierra, la capacidad de descomponerlos con la ayuda de las plantas. Por consiguiente, teníamos sólo parcialmente razón cuando decíamos antes que estos rayos se reflejaban o se transformaban en calor. Así fue al principio pero, teniendo en cuenta la relación de las acciones químicas con las distintas circunstancias que parecen secundarias, por ejemplo, la duración de la acción, la cantidad de sustancias en presencia, la forma de su distribución, de su difusión, de los procesos eléctricos, etc., debemos suponer que los rayos químicos del Sol, que no intervienen en la

descomposición del ácido carbónico, del amoníaco y de los componentes del suelo en circunstancias habituales, pueden intervenir *si se combinan dichas circunstancias de alguna forma particular*. Sin embargo, debemos añadir que las dos hipótesis principales sobre el origen de los organismos, que actualmente están enfrentadas (la de la creación y la del origen libre), parecen tan inverosímiles incluso para científicos tan conocidos como W. Thomson y Helmholtz, que se inclinan por una tercera que presupone que los primeros gérmenes de los organismos llegaron a la Tierra mediante piedras meteoritos²⁷ que cayeron desde el espacio del Universo.

Para estudiar la distribución de la energía sobre la superficie de la Tierra, más importante que la cuestión de la primera aparición de los organismos es la cuestión de su difusión. ¿Por qué los organismos cuya propia existencia exigía la coincidencia de circunstancias tan favorables y poco frecuentes que hasta ahora no hemos podido determinar cuáles son, se multiplicaron rápidamente y ahora cubren una gran parte de la superficie de la Tierra y pueblan los mares? Nos parece que es más fácil contestar a esa pregunta de forma más o menos satisfactoria. Los organismos se multiplican porque superan con éxito la lucha por la supervivencia contra la naturaleza inorgánica, en todos los casos en que acumulan una reserva de energía transformable mayor que las sustancias inorgánicas que les rodean. Es cierto que los organismos no pueden existir ni en la lava borbotante de los volcanes, ni siquiera bajo fuentes termales o entre las arenas del desierto donde a menudo el viento los disemina. Incluso un manantial corriente, que fluye rápidamente, o bien no contiene organismos, o sólo contiene organismos que se han introducido allí más tarde, se han fortalecido, pero han pasado los primeros estadios de su desarrollo en otro lugar más tranquilo. En todos los lugares donde existe un movimiento mecánico importante, donde, por tanto, hay mucha energía transformable, un organismo con una escasa cantidad de energía superior no aguanta la lucha por la supervivencia porque su movimiento, su crecimiento, su alimentación, etc., son destruidos en cada minuto por movimientos ajenos más fuertes. Por el contrario, en un lugar que no contiene una cantidad importante de energía transformable, los movimientos del organismo son comparativamente más fuertes, lo cual le permite un desarrollo sin obstáculos.

Gran interés revisten las experiencias de Horwath²⁸ que nos han servido de punto de partida para la opinión que hemos expuesto. La esencia de sus experiencias consiste en lo siguiente. Horwath tomó cuatro tubos de vidrio idénticos, en la medida de lo posible, llenos hasta la mitad del mis-

²⁶ Tait, l.c., p. 138.

²⁷ Lange, *Historia del Materialismo*, T. II, p. 236.

²⁸ A. Horwath. *Ueber den Einfluss der Ruhe und der Bewegung auf das Leben*. B Pflügers Archiv. f.d.g. Physiologie. Bonn, 1878.

mo líquido de cultivo. A dicho medio litro añadió en cada tubo dos gotas de un líquido que contenía bacterias. El número de bacterias era tan insignificante que el líquido de cultivo de los tubos no era turbio. Dos de ellos se ajustaron a una máquina movida por agua, que durante su funcionamiento agitaba el contenido de los tubos. Los dos otros tubos permanecieron en reposo, cerca de los agitadores. Hacia el final del experimento, al cabo de 24 ó 48 horas, el líquido de los tubos que había permanecido en descanso era turbio como la leche y el examen microscópico demostró que contenía cantidades considerables de *Bacterium termo* y de *Bacterium bacillus* (Cohn). El líquido de los tubos que habían sido agitados por la máquina estaba claro. Las bacterias no se habían multiplicado no sólo durante la agitación, sino incluso durante las 48 horas de reposo posteriores, a una temperatura de 25° C hasta 30°C a condición de que la agitación hubiese durado un tiempo suficiente, como por ejemplo 48 horas, aproximadamente.

Tras finalizar la exposición de sus experimentos con bacterias expresando el deseo de que ese tipo de experiencias se repitiesen también con levaduras, infusorios, semillas de plantas, etc., Horwath presenta el siguiente ejemplo para corroborar su opinión de que los movimientos fuertes son un obstáculo para el desarrollo de la vida: Todas las aguas, los océanos, los mares y los ríos que reúnen todas las condiciones favorables para el desarrollo de la vida²⁹ contienen, sin embargo, respecto a las aguas estancadas, pocas plantas y animales; todas esas aguas suelen tener un fuerte movimiento y nunca están en reposo³⁰.

De este modo, al poseer la consabida reserva de energía transformable, la consabida capacidad para el movimiento mecánico, por ejemplo, el crecimiento de las raíces hacia abajo y del tallo hacia arriba, y experimentando casi en toda la superficie terrestre la ausencia de movimiento mecánico, teniendo, por así decirlo, el monopolio de la acumulación de la energía solar que contenía todavía una parte considerable de elementos transformables en una forma superior, las plantas empezaron realmente a realizar con éxito dicha transformación que han proseguido hasta ahora. Los enormes yacimiento de carbón de piedra y la atmósfera, liberada en gran parte del contenido de ácido carbónico, son los principales testigos de la actividad secular de las plantas.

En la actualidad, se admite, para facilitar los cálculos, igualar cualquier proceso que acabe con la formación de un movimiento químico, es decir, con una de las formas superiores de energía transformable, con la acción de la máquina térmica (es decir, de una máquina donde el calor se

convierte en trabajo). El principio de ese punto de vista general sobre el origen de la energía mecánica fue admitido mucho antes que el desarrollo de la teoría mecánica del calor en las investigaciones de *Sadi Carnot*, quien ya en 1824 dijo: Para examinar el principio del origen del movimiento en el calor en toda su amplitud, hay que representárselo independiente de cualquier tipo de mecanismo, de cualquier tipo de sustancia determinada; hay que establecer el desarrollo de los argumentos que se aplican no sólo a las máquinas de vapor, sino también a todo motor, sea cual sea su sustancia que se acciona, y sea cual sea el método con el que se acciona. Y añade asimismo: *En todas partes donde existe una diferencia de temperaturas, puede hallarse el origen de la fuerza motriz*³¹.

Sabemos sin embargo que todo el calor nunca puede ser convertido en trabajo, y las máquinas de vapor mejor construidas no proporcionan más de una quinta o una cuarta parte de trabajo útil. El calor restante es cada vez inferior en lo que se refiere a la capacidad de transformación, pierde la capacidad de ser transformado en trabajo, se dispersa. Pero para juzgar correctamente la cantidad de trabajo conseguido y la cantidad de calor gastado, es indispensable que en la máquina se lleve a cabo el proceso circular de la transformación del calor en trabajo e, inversamente, del trabajo en calor ya que, de lo contrario, no tenemos la posibilidad de hacernos una idea exacta de la cantidad de calor que se halla en el trabajo obtenido³². Es lo que Carnot llama *ciclo de las operaciones o proceso circular*. Según su opinión, únicamente es posible juzgar la relación entre el trabajo obtenido y el calor gastado en la ejecución del trabajo, cuando el ciclo ha finalizado. Si tomamos una determinada cantidad de vapor y la dejamos dilatarse, a partir del calor gastado durante dicho proceso y del trabajo obtenido no podríamos decir que la cantidad desaparecida de calor es equivalente al trabajo obtenido. En realidad, al finalizar la acción, los vapores se hallan en cuanto a la presión y a la temperatura en otro estado que al principio. Al principio podían ser vapores saturados que tenían una temperatura conocida; pero, al final del proceso, si se han tomado las precauciones conocidas, el vapor, aunque ha podido permanecer saturado, su temperatura es otra; por ello no se puede decir si estos vapores contienen la misma cantidad de energía que tenían en su estado inicial. No tenemos un fundamento racional que nos permita determinar la cantidad de calor que se transforma en trabajo si la sustancia del trabajo es al principio una, y después otra. Si, con la ayuda de algún dispositivo o mecanismo, logramos devolver la sustancia de trabajo a su estado anterior, tenemos derecho a decir que, como la sustancia ha vuelto a su estado ante-

²⁹ Es decir, la presencia de oxígeno, luz, calor y sustancias nutritivas.

³⁰ A. Horwath, l.c., p. 133.

³¹ Sadi Carnot, *Réflexions sur la puissance motrice du feu*. París, 1824, pp. 8 y 16.

³² Sadi Carnot, l.c., p. 20.