

El avance científico no esta al margen del proceso social

Energía, Trabajo y Calor: un enfoque histórico

Formular los conceptos de energía, trabajo y calor fue un proceso largo y laborioso que refleja los diversos momentos históricos en que fueron establecidos.

JOSE LUIS ALONSO *

I. INTRODUCCION

Cuando se enfrenta a la tarea de realizar un trabajo histórico sobre algún tópico particular de la ciencia, la primera dificultad que se presenta es la pregunta: ¿sobre qué aspectos se construye una historia de la ciencia?

En la medida que se establece una concepción particular acerca de la ciencia, se justifica la inclusión de ciertos aspectos que pudiesen estar fuera del contexto según otras concepciones.

De acuerdo con lo anterior y debido a la gran diversidad de ideas que se tienen respecto a la ciencia, es necesario plantear como premisa principal que se concibe a la ciencia según las características que señala John D. Bernal, a saber "... (1.1) como una institución; (1.2) como un método; (1.3) como una tradición acumulativa de conocimientos; (1.4) como un factor principal en el mantenimiento y el desarrollo de la producción; y (1.5) como una de las influencias más poderosas en la formación de las opiniones y actitudes respecto al universo y al hombre".¹

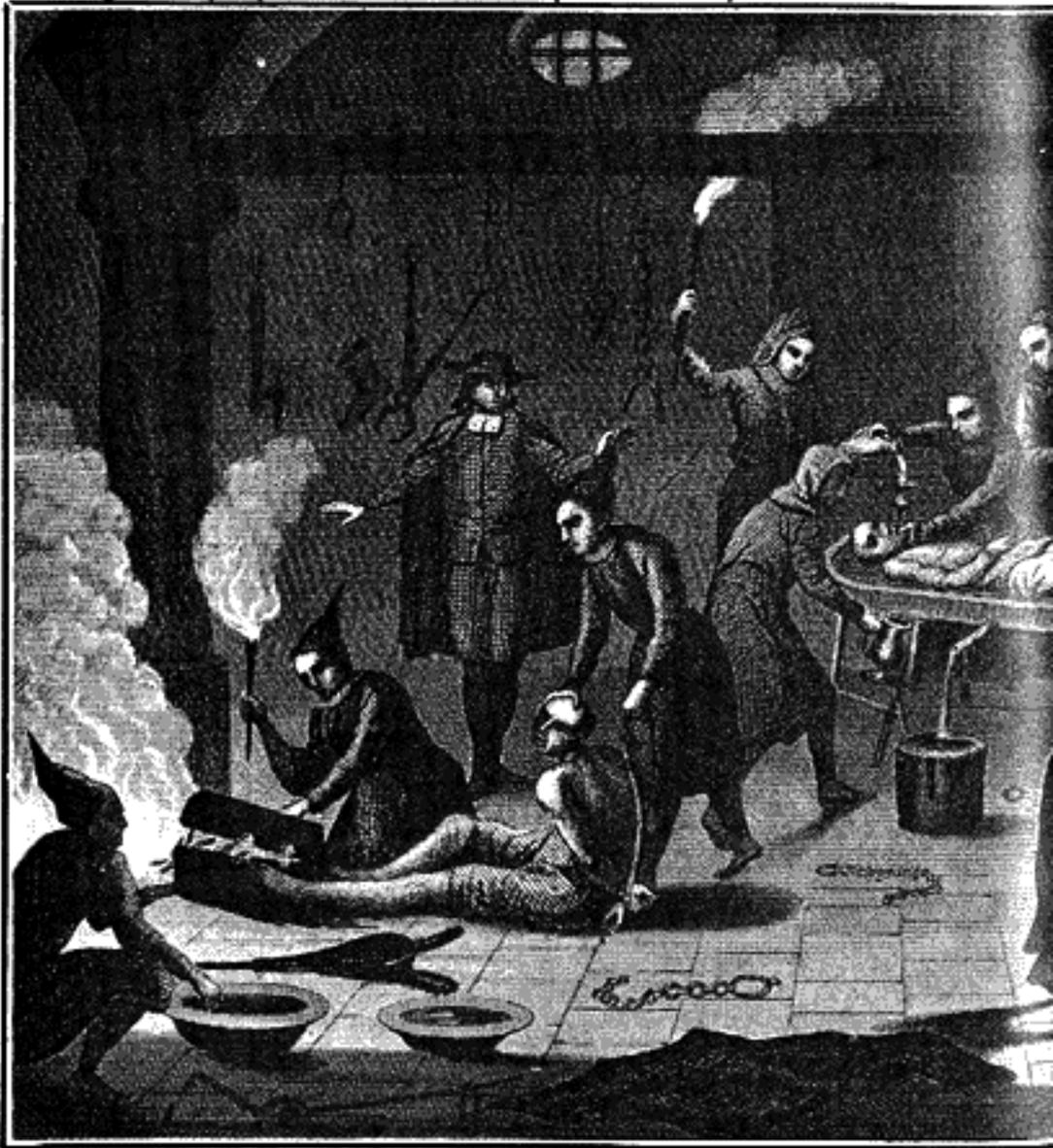
Esta premisa permitirá presentar una visión más amplia del desarrollo de algunos puntos de interés que ofrece la termodinámica, el cual presentamos no sólo en la forma de relato cronológico, sino que intentaremos hacer evidente la relación entre requerimientos económicos, requerimientos técnicos y generación de conocimientos. Como corolario a la premisa planteada es necesario añadir la no neutralidad de la ciencia y acabar así con el mito de que la ciencia se ha construido y se construye por genialidades casuales e ingenuas.

II. EL CAPITALISMO Y EL SURGIMIENTO DE LA TERMODINAMICA

Al finalizar la Edad Media en Europa el sistema feudal se enfrentaba ante el elemento revolucionario de esa época, la burguesía. El mejor representante del sistema feudal era la Iglesia Católica Romana que

se extendía por toda Europa Occidental y a pesar de que empezaban sus conflictos internos, poseía, por lo menos, la tercera parte de toda la propiedad territorial del mundo católico. Esto implicaba que para que la burguesía conquistara el poder fuera necesario que destruyese esta organización central. Paulatinamente, con la evolución de la burguesía, se requería de una ciencia que impulsara el desarrollo industrial, es decir, una ciencia que investigase las propiedades de los cuerpos físicos y el funcionamiento de las fuerzas naturales. Esto motivó a que la ciencia se rebelara contra la Iglesia y traspasara las fronteras establecidas por la fe.

La evolución de la burguesía requería una ciencia que impulsara el desarrollo industrial y por consiguiente debería investigar las propiedades de los cuerpos físicos y el



* Estudiante de la carrera de Física, de la Facultad de Ciencias, UNAM

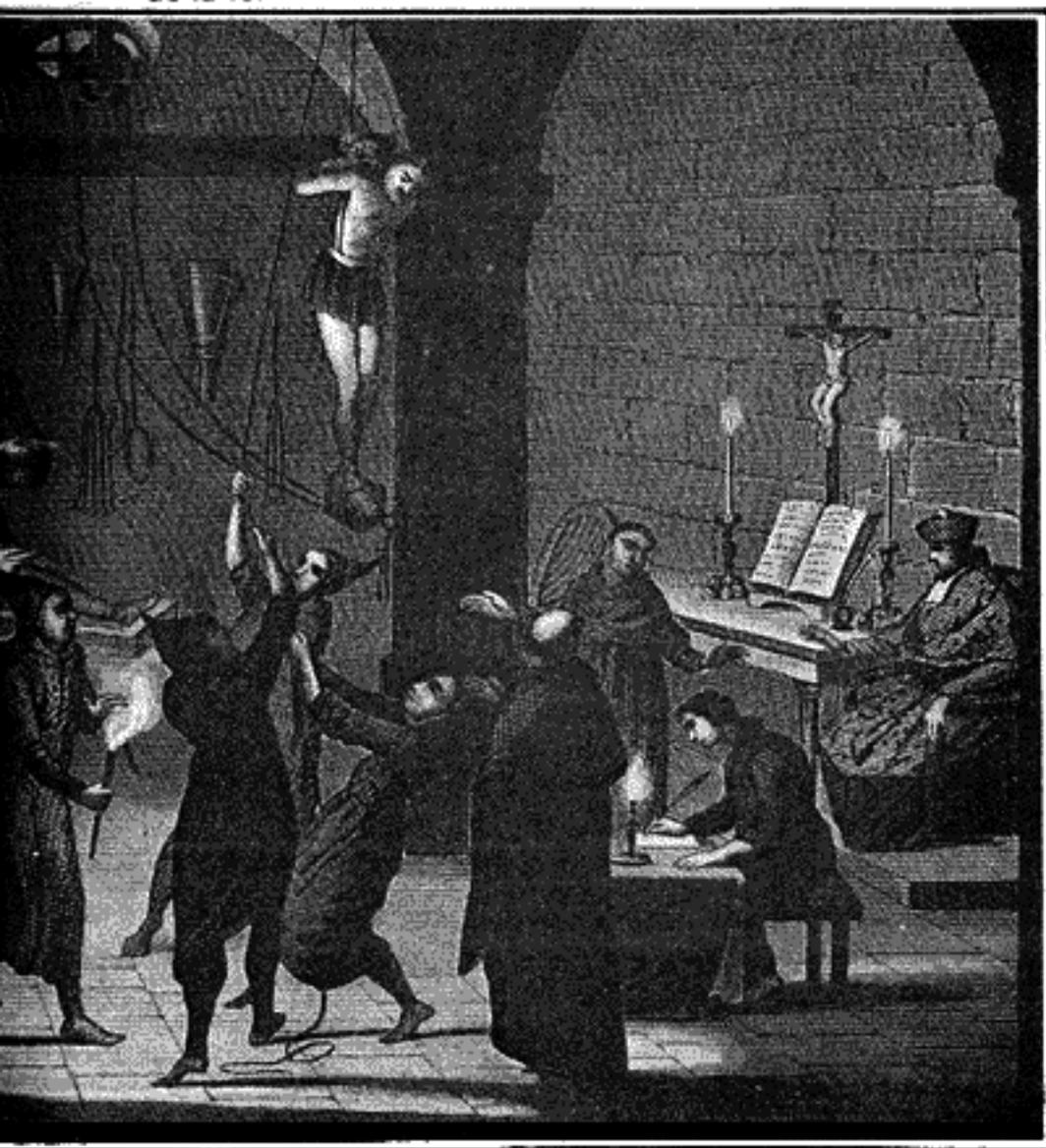
¹ Bernal, John D. LA CIENCIA EN LA HISTORIA, ed. Nueva Imagen, México, 1979, p. 40.

La campaña de la burguesía para llegar al poder no sólo incluía los aspectos económicos, filosóficos y científico, sino también la parte política y social. Esta última se llevó a cabo a través de la actividad bélica. Así pues, durante los siglos XVI, XVII y XVIII se suceden una serie de revoluciones burguesas en países como Francia e Inglaterra, que tratan de abolir los regímenes absolutistas monárquicos y establecer sistemas parlamentarios. Además, surgen conflictos entre naciones (ya que se empiezan a conformar los centros industriales, mercantiles y de consumo) para obtener recursos (litorales, ríos, carbón, etc.) y asegurar su supremacía en el campo económico.

Sin embargo, la burguesía no llegó al poder repentinamente, tuvo que hacer una transacción con los grandes feudales. De esta forma los cargos políticos, los grandes sueldos y otros privilegios les fueron respetados a las familias de la aristocracia rural, a condición de que defendiesen cumplidamente los intereses económicos de la clase media financiera, industrial y mercantil.

La iglesia no fue destruida sino que fue transformada en un aliado de la nueva clase en el poder. Esta alianza se fortalece cuando aparece el materialismo, doctrina que desenmascara a la burguesía como usurpadora del poder a costa del sacrificio de vidas campesinas. El materialismo no sólo critica a la religión, sino a todas las tradiciones científicas y a todas las instituciones políticas, tratando de demostrar su aplicación universal.

funcionamiento de las fuerzas naturales. Esto motivó que la ciencia se rebelara contra la iglesia y traspasara las fronteras de la fé.



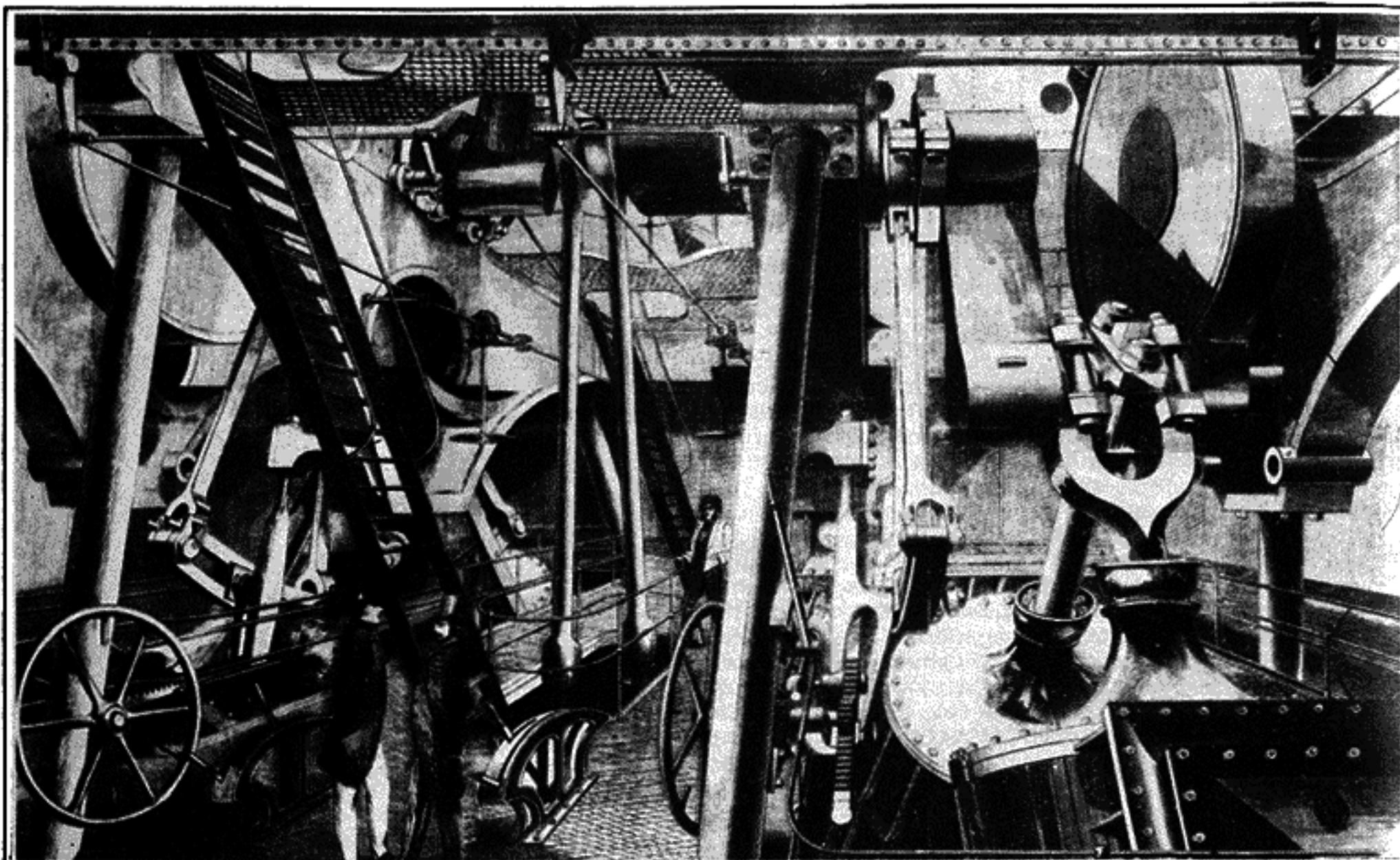
El filósofo y científico alemán Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) mantenía que la "vis viva" era la verdadera medida del movimiento y la utilizó como base para su teoría mecánica.

El desarrollo del capitalismo tiene un número de etapas caracterizadas por los diferentes niveles de madurez. La etapa de la Revolución industrial es una etapa de transición de una fase primitiva de capitalismo a otra fase que constituye la producción a gran escala. Esta transición se produce bajo las ideas económicas del libre juego de las fuerzas autorregulables del mercado y las constantes innovaciones técnicas.

Este periodo de actividad económica está íntimamente relacionada con un periodo de actividad científico-técnica, cuya temática central fue el desarrollo del conocimiento acerca del calor, la energía y el trabajo.

III. GENESIS DEL CONCEPTO DE ENERGIA

Las raíces que dieron lugar al concepto de energía son las mismas que permitieron establecer el concepto de cantidad de movimiento y el principio de su conservación, esto es el problema de las variaciones de movimiento que tienen lugar cuando los cuerpos chocan unos con otros. Luego de estudiar este problema, Christian Huygens (1629-1693) propone en 1669, como parte de su solución, la regla de que para un sistema de cuerpos en colisión, la suma de los productos de la masa por el cuadrado de la velocidad de cada uno de ellos permanece constante antes y después del choque de una colisión perfectamente elástica (sin pérdida de energía). A la cantidad mv^2 se le dio el nombre de vis viva y fue utilizada como base de la teoría mecánica del filósofo y científico alemán Gottfried Wilhelm Leibniz y en otros trabajos del propio Huygens publicados alrededor de 1700.



La Ingeniería mecánica jugó un papel importante en la formulación del concepto de energía. Su interés en las máquinas y su eficiencia la llevó a relacionar la "vis viva" con la potencia.

Utilicemos un ejemplo concreto para analizar el postulado de Huygens. Dos esferas desiguales y perfectamente rígidas se aproximan una hacia la otra con distintas velocidades, chocan y se separan. Sabemos que el principio de conservación de la cantidad de movimiento exige que:

$$m_A \bar{v}_A + m_B \bar{v}_B = m_A \bar{v}'_A + m_B \bar{v}'_B \quad (1)$$

pero Huygens proponía que, a la vez, se cumple la relación

$$m_A v_A^2 + m_B v_B^2 = m_A v_A'^2 + m_B v_B'^2 \quad (2)$$

Hay que aclarar que la expresión (2) no puede deducirse de la (1), que se trata de una ecuación escalar en la que no intervienen las direcciones del movimiento y que es válida en esta forma, tanto si A choca contra B como si B choca contra A, o si la velocidad de A y B se encuentran formando un ángulo cualquiera. La primera ecuación es siempre cierta en todas las colisiones, ya sean elásticas o inelásticas; la segunda es una aproximación casi correcta para cuerpos que chocan con un coeficiente de restitución cercano a la unidad, pero no es aplicable a colisiones inelásticas.

Huygens no puso mucho interés en la vis viva, pero Leibnitz (1646-1716) la retomó y aplicó para atacar la física de Descartes. Leibnitz mantenía que la vis viva era la verdadera medida del movimiento, en contra

del punto de vista geométrico de Descartes (1596-1650).

D'Alembert (1717-1783) clarificó el problema apuntando que todo el debate fue sobre palabras. El inició un nuevo tratamiento del principio de conservación de la vis viva a partir de principios mecánicos anteriores. A pesar de que Leibnitz detectó que la vis viva dependía del peso del cuerpo y la distancia recorrida, no identificó el producto del peso por la altura como una cantidad independiente importante.

La ingeniería mecánica jugó un papel importante en la formulación del concepto de energía. Su interés en las máquinas y su eficiencia la llevó a relacionar la vis viva con la potencia. La necesidad de medir la eficiencia mecánica conduce desde la noción general de potencia a la formulación del concepto de trabajo mecánico, que será definido matemáticamente como la vis viva gastada por la máquina.

La máquina hidráulica fue el modelo básico de máquina durante los siglos XVII y XVIII. En 1767, Borda (1733-1799) desarrolló el problema básico de la eficiencia mecánica de las máquinas hidráulicas, aplicando el concepto de vis viva y relacionándolo con el cambio de altura del fluido de la máquina.

Lazare Carnot (1753-1823) realiza un notable avance: relaciona la vis viva con el producto de la distancia vertical por el peso ($P \times h$), al que llama fuerza latente o momento de actividad.

Coriolis fue el primero en usar el término general "trabajo" para designar la integral de la fuerza y la distancia transformando:

$$P \cdot h = mv^2 \text{ en } \int P \, ds = \Delta \frac{1}{2} m v^2$$

Algunos años más tarde J. L. Lagrange, en su *Mécanique analytique* estableció que para un sistema conservativo $\Delta E_c + \Delta E_p = 0$. Sin embargo, las fuerzas disipativas de los sistemas no conservativos no cumplían con la afirmación de Lagrange, por lo que era necesario estudiar el efecto de estas fuerzas, es decir, el fenómeno del calor.

IV. DESARROLLO DE LAS IDEAS SOBRE LA NATURALEZA DEL CALOR

Queda todavía una extensión final del concepto de energía, la cual tiene que ver con los problemas relacionados con el calor. Fue justamente esta extensión, obtenida a mediados del siglo pasado, la que, en efecto, clarificó y amplió los diversos conceptos separados de la energía. Es, pues, importante mencionar el desarrollo de las ideas sobre la naturaleza del calor antes de discutir los aspectos cuantitativos de las transformaciones entre el calor y otras formas de energía.

Aristóteles consideraba al fuego como uno de los cuatro elementos fundamentales cuyo lugar natural se encontraba en las alturas, con lo que gran parte de la conducta observada en los cuerpos calientes podía explicarse en forma cualitativa. Los atomistas griegos explicaron las diferencias de temperatura de los cuerpos imaginando al calor como una sustancia especial, no perceptible directamente, atómica en estructura como las restantes, que se difundían a través de los cuerpos rápidamente y que, posiblemente poseía algún peso. Este concepto es útil en conjunto para explicar la mayor parte de las observaciones

Algunos filósofos científicos del siglo XVII, como Bacon, Galileo, Boyle y Newton, propusieron que el calor podría explicarse directamente como una vibración de los cuerpos calientes. Pero ninguno de ellos pudo desarrollar esta idea de manera convincente.



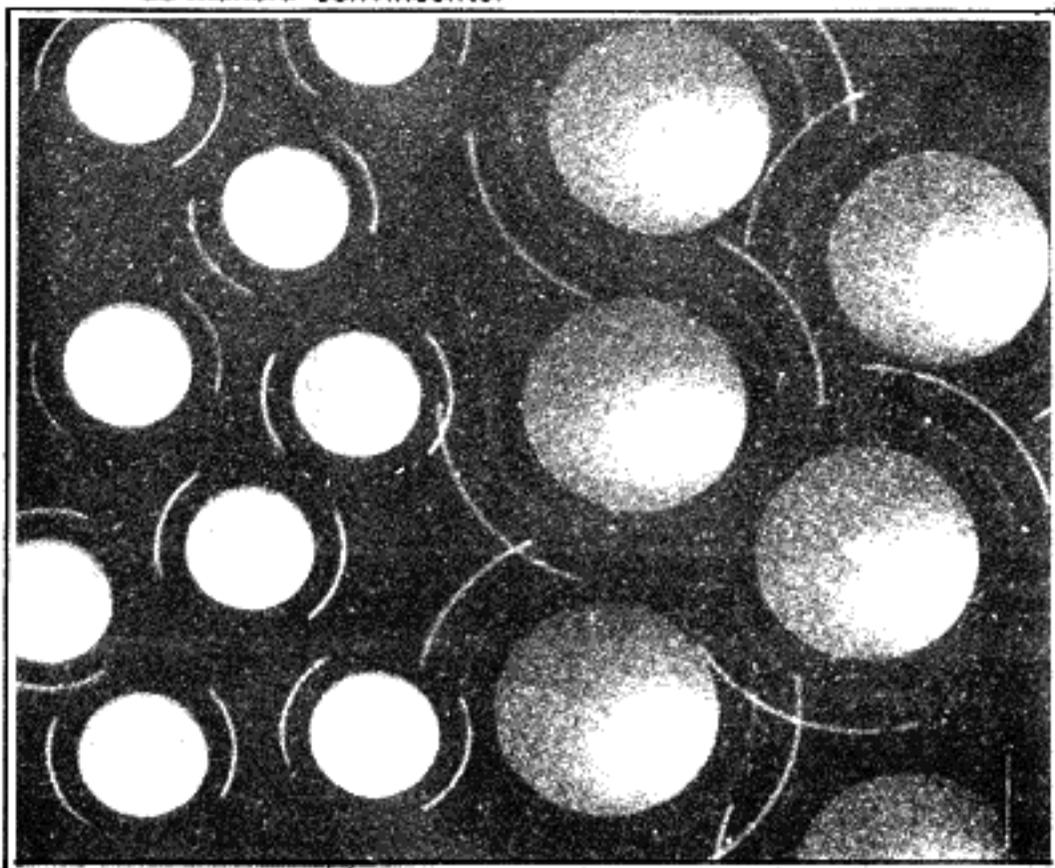
Las investigaciones de Lavoisier (1743-1794) demolieron la teoría del flogisto la que fué sustituida por la del calórico. En la pintura aparece acompañado de su esposa Marie.

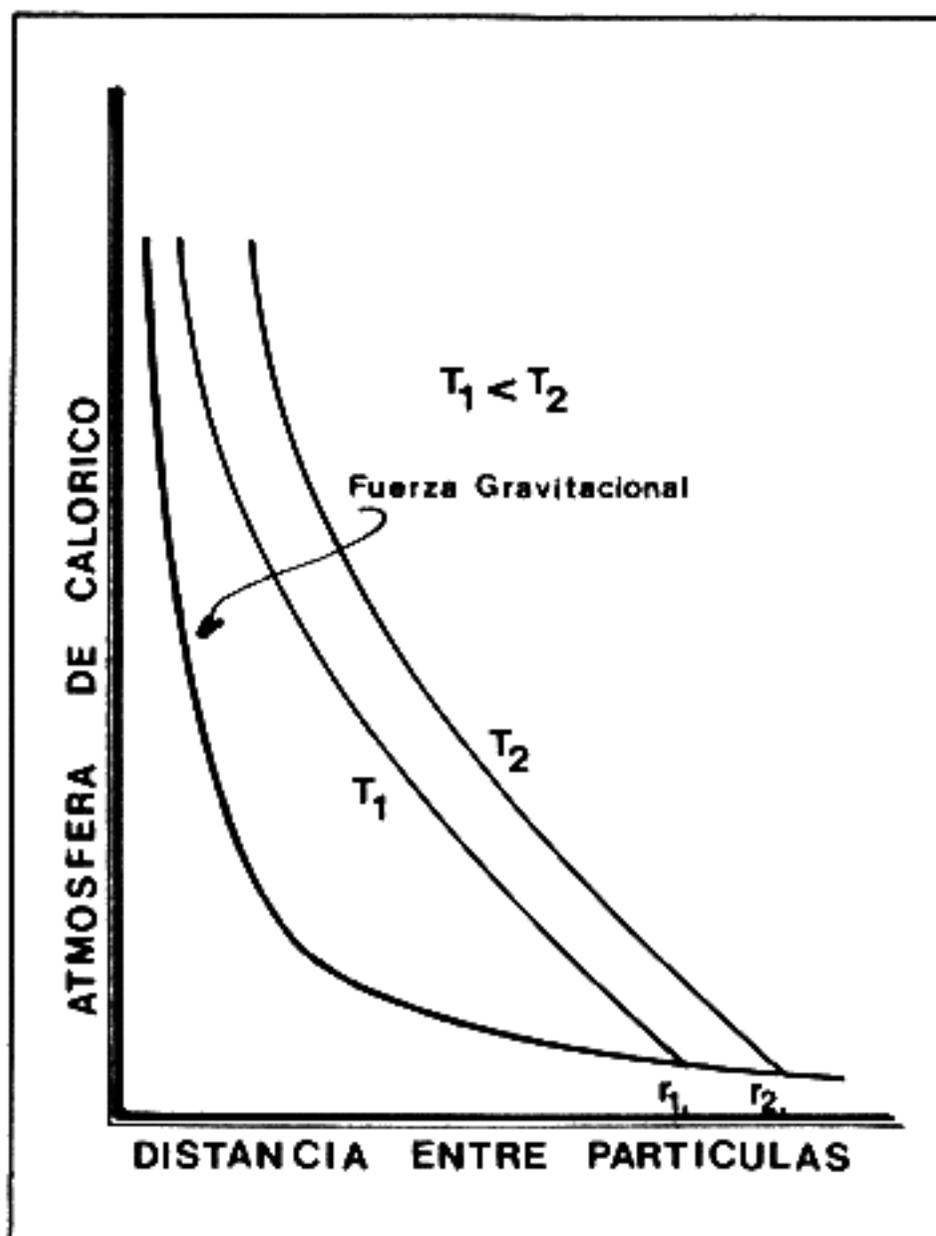
casuales, incluyendo el equilibrio de temperaturas que alcanzan dos cuerpos cuando, eventualmente, estén en contacto entre sí.

Sin embargo, algunos filósofos científicos del siglo XVII, como Bacon, Galileo, Boyle y Newton, tuvieron sus dudas, desconfiando de la teoría del calor como un fluido y, en su lugar propusieron que el calor podía explicarse directamente como una vibración de los cuerpos calientes. Pero ninguno de ellos pudo desarrollar esta idea de manera convincente.

El siglo XVIII presenció una proliferación de teorías basadas en fluidos imponderables. El principio de inflamabilidad, llamado flogisto, era visto como un fluido ganado y perdido por los cuerpos durante una combustión y otras reacciones químicas. Los efectos magnéticos y eléctricos eran descritos en términos de fluidos y efluvios. En este clima general de pensamiento resulta natural concebir al calor como un fluido imponderable más y esta teoría fue, naturalmente, reforzada fuertemente por la clara y definida demostración de la conservación del calor en los experimentos calorimétricos. No es sorprendente, por tanto, que las especulaciones de los físicos del siglo XVII fueran hechas a un lado; Black, Lavoisier y otros las rechazaron explícitamente.

Lavoisier (1743-1794), cuyas investigaciones demolieron finalmente la teoría del flogisto, dio al principio flúidico del calor el nombre de calórico y la teoría





Para T_1 la ley logarítmica intersecta la gráfica de la fuerza gravitacional en r_1 y para T_2 en r_2 .

de éste fue lanzada a una larga y fructífera historia llegando hasta mediados del siglo XIX, cuando abrió paso al principio de conservación de la energía. Se postuló que el fluido calórico tenía las siguientes propiedades: a) es una sustancia material que no puede ser creada ni destruida; b) el fluido es elástico y sus partículas se repelen entre sí, pero son atraídas por las partículas de otras sustancias, siendo la magnitud de la atracción diferente para distintos materiales; c) el fluido calórico puede ser sensible o latente; en el primer caso se difunde rápidamente entre las partículas atractivas y rodea a cada una con una atmósfera del fluido; en el último caso, el fluido calórico se combina con las partículas atractivas de una manera muy semejante a las de las combinaciones químicas.

Con el desarrollo de termómetros confiables, calibrados en forma reproducible, fue posible llevar a cabo experimentos cuantitativos sobre el calentamiento y enfriamiento de diversas sustancias. Black (1728-1799) fue de los que más aportó a la teoría del calórico y respecto al empleo de los termómetros afirmó: "por el uso del termómetro hemos aprendido que si tomamos... diferentes clases de materia, tales como metal, piedras, madera, corcho, plumas, lana, agua y una variedad de otros fluidos, aunque al principio entre todos ellos existan diferencias de temperatura, y si los ponemos juntos en un cuarto, sin fuego y dentro del cual brille el sol, el calor será comunicado del más caliente de estos cuerpos al más

frío, durante algunas horas quizás o en el curso del día; al final de este tiempo, si aplicamos un termómetro a todos ellos en sucesión dará precisamente la misma lectura. El calor por tanto se distribuye en este caso hasta que ninguno de estos cuerpos tiene una mayor demanda o atracción por el calor que cualquier otro... El calor es llevado así a un estado de equilibrio... Debemos adoptar, por tanto, como una de las leyes más generales del calor, el principio de que todos los cuerpos que se comunican libremente entre sí y que no están expuestos a desigualdad alguna, debida a acción externa, adquieren la misma temperatura como es indicada por un termómetro".² De esta manera, la temperatura queda definida como un número observado en una escala y el calor como algo intercambiado entre los cuerpos, además, se vislumbra lo que será luego la ley cero de la termodinámica.

La expansión térmica se explicaba diciendo que las partículas de la sustancia en expansión obedecen a una fuerza gravitacional inversa al cuadrado de la distancia y la atmósfera calórica a una ley logarítmica; el punto donde cruzan las gráficas de ambas propiedades es la distancia entre las partículas. Así, a mayor temperatura la ley logarítmica cruza la gráfica de la fuerza gravitacional a mayor distancia. Se afirmaba además, que la fuerza de atracción gravitacional era menor en los líquidos que en los sólidos y despreciable en los gases, por ello, el coeficiente de expansión de los líquidos es mayor que en los sólidos y en los gases es el mismo. Sin embargo, el comportamiento extraño del agua nunca lo pudieron descubrir bajo estos argumentos.

Durante la realización de experimentos con agua a distinta temperatura se construyó el concepto de calor específico; al mezclar masas iguales a distintas temperaturas encontraron que $\Delta T_a = -\Delta T_b$. Por otra parte mediante la combinación de masas distintas de agua a distintas temperaturas se estableció que

$$\Delta T_a / \Delta T_b = -m_b / m_a$$

Y al mezclar con una sustancia diferente se encontró que

$$c_x m_x \Delta T_x = -m_A \Delta T_A$$

donde el factor de proporcionalidad fue definido como el calor específico del material, y donde la cantidad $C_x m_x$ era interpretada como la cantidad equivalente de agua; por ejemplo, en el caso del mercurio $C_x = 0.033$ y $m_x = 100$ g de mercurio cantidades que equivalen a $0.033 \times 100 \text{g} = 3.3$ g de agua en relación a la capacidad de absorber calor. Así, se estableció finalmente la relación general para la combinación de n sustancias diferentes a distintas temperaturas:

$$c_A m_A \Delta T_A + c_B m_B \Delta T_B + c_C m_C \Delta T_C + \dots = 0$$

Por otra parte, los fenómenos de cambios de fase resultaban ser particularmente interesantes. Respecto a la fusión del hielo, Black fue el primero que dio una descripción correcta:

"La fusión había sido universalmente considerada como producida por la adición de una cantidad muy pequeña de calor a un cuerpo sólido, una vez que había calentado hasta su punto de fusión, y el regreso del líquido al estado sólido, como dependiente de una disminución muy pequeña de su cantidad de calor... Se creía que esta pequeña adición de calor durante la fusión era necesaria para producir una pequeña ele-

² Citado por Arons, Arnold B. EVOLUCION DE LOS CONCEPTOS DE LA FISICA, ed. Trillas, México, 1970, pp. 432-33.

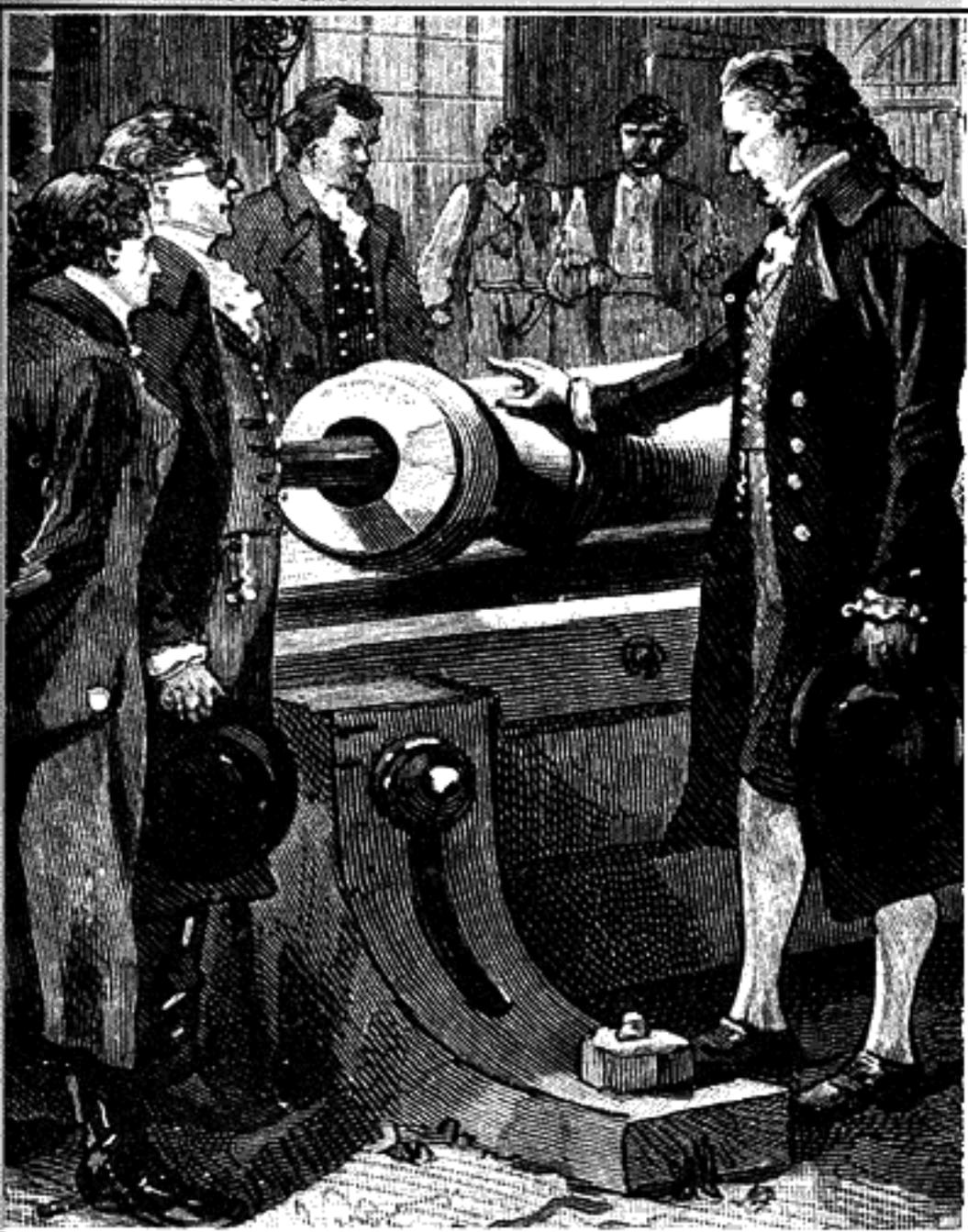
vacación en la temperatura como era indicada por un termómetro".

"La opinión que me formé... es como sigue. Cuando el hielo o cualquier otra sustancia sólida es fundida... una gran cantidad de calor entra en ella... sin hacerla aparentemente más caliente, cuando era medida por (un termómetro)... Yo afirmo que esta gran condición de calor es la causa principal y más inmediata de la licuefacción inducida".³

Black describe una variedad de experimentos diseñados para demostrar su argumento, entre ellos una demostración de que la temperatura del hielo expuesto en un cuarto caliente no cambia, mientras que la temperatura en una cantidad igual de agua fría se eleva significativamente. Argumenta que tanto el hielo como el agua deben estar absorbiendo calor del aire aproximadamente en la misma proporción. Otro experimento de carácter cuantitativo le permitió calcular el calor latente de fusión del hielo en 79 cal/g. Además encontró, por analogía, el calor latente de vaporización alrededor de 539 cal/g.

3 Citado en Arons, Arnold B., op. cit., p. 438.

Benjamín Thomson o Conde de Rumford (1753-1814) no era partidario de la teoría del calórico; cuando supervisaba la perforación de cañones en Munich reflexionó profundamente sobre el calentamiento del metal. Sus experiencias y sus reflexiones fueron la base para entender la relación movimiento-calor.



A pesar de la aceptación que llegó a tener la teoría del calórico en 1780, había dos hipótesis difíciles de sostener: a) la posibilidad de que tuviera peso, y b) el fluido calórico se conserva en cualquier proceso térmico.

Un pequeño número de investigadores no estaba satisfecho con la hipótesis de que este fluido material tuviera tantas propiedades especiales. Uno de estos inconformes fue Benjamín Thomson (1753-1814). El primer punto que atacó fue el peso del calórico y después de fallidos intentos por medirlo escribió en 1799: "Creo que puedo sacar la conclusión, con toda seguridad, de que todos los intentos para descubrir cualquier efecto del calor en el peso aparente de los cuerpos, serán inútiles".⁴

Thomson también dedicó su atención al calor producido por fricción y cuando estuvo supervisando la perforación de cañones en los talleres del arsenal militar en Munich hizo la siguiente consideración: "la notable circunstancia de que la fuente de calor generada por la fricción en estos experimentos evidentemente parecía inagotable. Difícilmente, es necesario añadir, que cualquier cosa que el cuerpo aislado o sistema de cuerpos pueda continuar suministrando sin limitación no puede, posiblemente, ser una sustancia material; me parece que es extremadamente difícil, si no imposible, formar alguna idea clara de algo capaz de ser excitado y comunicado de manera la cual el calor fue excitado y comunicado en estos experimentos, que no sea movimiento".⁵

En 1830 Humphry Davy continuó el ataque de Thomson al calórico. A pesar de las múltiples objeciones la teoría del calórico no fue abandonada inmediatamente, sin embargo, Laplace y Lavoisier, en su Memoria sobre el calor, de 1786, consideraron las hipótesis rivales del calor como movimiento y del calor como fluido calórico y escribieron: "Nosotros no decidiremos en absoluto entre las dos hipótesis anteriores. Varios fenómenos parecen favorables a una, tal como el calor producido por la fricción de dos cuerpos sólidos, por ejemplo; pero existen otros que son explicados en forma más simple por la otra; quizá ambas sean válidas al mismo tiempo... En general, uno puede cambiar la primera hipótesis a la segunda cambiando las palabras calórico libre, calórico combinado y calórico liberado por vis viva, pérdida de vis viva e incremento de vis viva".⁶

Hacia 1830 Europa se encontraba en pleno apogeo de la revolución tecnológica. La industria dependía de la máquina de vapor para obtener la potencia mecánica generada por el calor suministrado por los combustibles. Faraday (1791-1867) había descubierto la inducción electromagnética y construido generadores eléctricos primitivos que se estaban usando en experimentos de todas clases. En esta atmósfera, James Prescott Joule (1818-1889), que concibió la idea de una posible relación cuantitativa entre el trabajo y el calor, realizó una larga serie de experi-

4 Citado en Holton, Gerard y Brush, Stephen G. INTRODUCCION A LOS CONCEPTOS Y TEORIAS DE LAS CIENCIAS FISICAS, ed. Reverté, México, 1979, p. 386.

5 Idem, p. 446.

6 Citado en Holton, Gerard y Brush, Stephen G., op.cit. p. 443.

mentos cada vez más exactos sobre la producción de calor en el agua por efectos de fricción. En 1850 publicó un extenso resumen de resultados con una aseveración final:

"La cantidad de calor producida por la fricción de cuerpos, ya sea en sólidos o líquidos, es siempre proporcional a la cantidad de trabajo gastado. La cantidad de calor capaz de aumentar la temperatura de una libra de agua... en 1°F requiere para su evolución el gasto del trabajo mecánico representado por la caída de 772 lb a través del espacio de un pie".⁷

Los experimentos de Joule, junto con el trabajo y el pensamiento de algunos de sus contemporáneos, condujeron a la formulación de la ley de conservación de la energía. Esta síntesis prodigiosamente fértil de la mecánica y la teoría del calor invitaba a retornar al punto de vista inicial del calor, considerándolo como asociado con el movimiento de las partículas constituyentes.

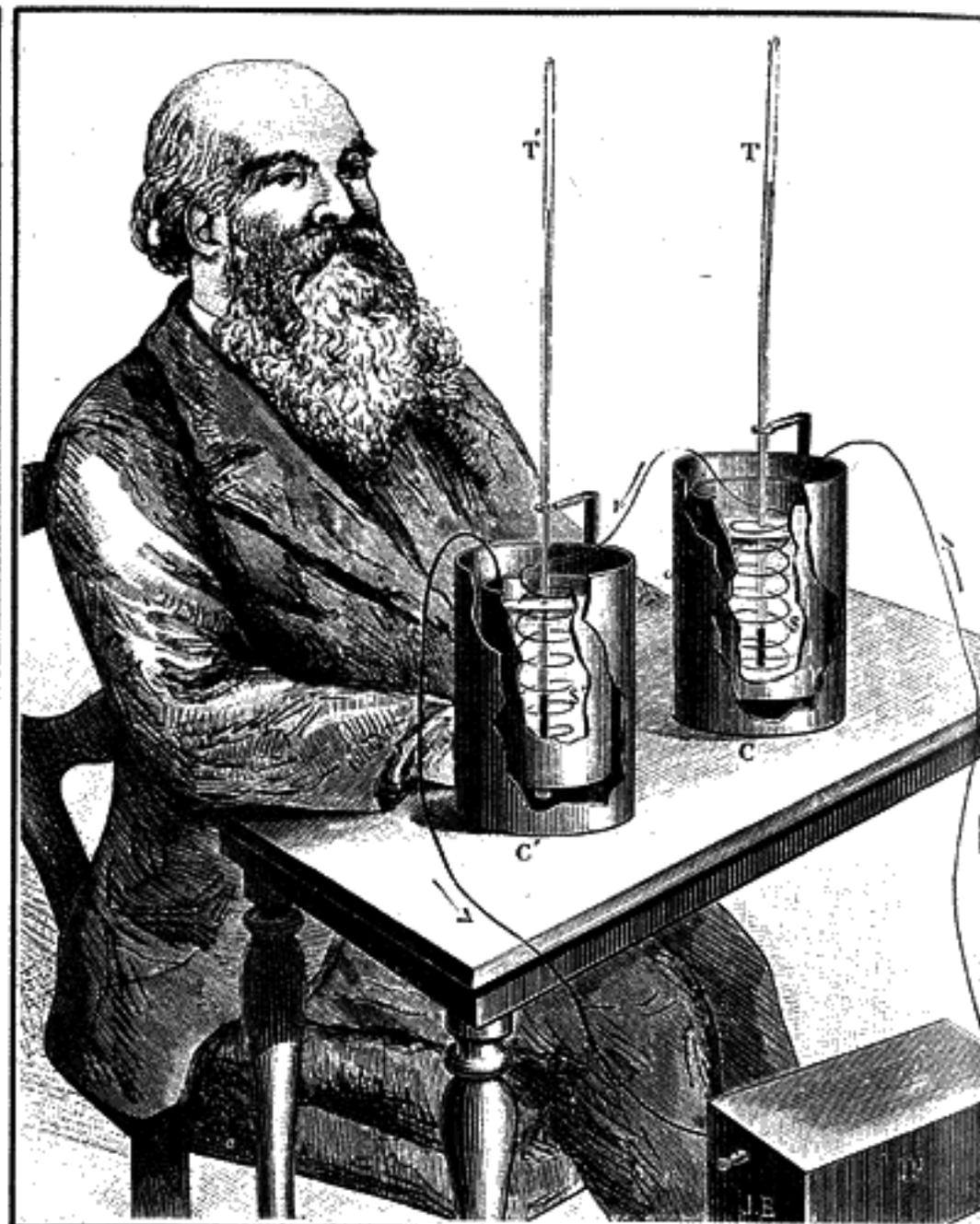
V. CONSERVACION DE LA ENERGIA

La generalización y extensión del principio de conservación durante la década inicial en 1840 condujo, finalmente, al abandono de la teoría del calórico. La primera enunciación publicada del principio de la conservación de la energía apareció en un trabajo altamente especulativo, casi metafísico, en *Annalen der Chemie und Pharmacie* de Justus Liebig en 1842. El autor era Julius Robert Mayer (1814-1878) y el trabajo se titulaba "Comentarios sobre las fuerzas de naturaleza inorgánica". En él, Mayer establecía lo siguiente:

"Las fuerzas (energías) son causas; consecuentemente, podemos, en relación con ellas, hacer una aplicación total del principio *causa aequat effectum*. Si la causa *c* tiene el efecto *e*, entonces $c = e$, a su vez, *e* es la causa de un segundo efecto *f*, tenemos $e = f$ así sucesivamente... Es una cadena de causas y efectos, un término o una parte de un término; nunca puede, como aparece claramente en la naturaleza de una ecuación, volverse igual a nada. Esta primera propiedad de todas las causas la llamamos su indestructibilidad. Si la causa dada *c* ha producido un efecto *e* igual a sí misma, en ese mismo acto ha dejado de ser *c* y se ha vuelto *e*... Esta capacidad de tomar varias formas es la segunda propiedad esencial de todas las causas. Tomando ambas propiedades juntas, podemos decir, las causas son cuantitativamente indestructibles y cualitativamente objetos convertibles".

"Dos clases de causas ocurren en la naturaleza, las cuales, hasta donde va la experiencia, nunca pasan una a la otra. La primera clase consiste de tales causas que poseen las propiedades de peso e impenetrabilidad, estos son tipos de materia; la otra clase está compuesta de causas que están faltando en las propiedades apenas mencionadas, a saber fuerzas (energías)... Las fuerzas son, por tanto, indestructibles, convertibles, objetos imponderables".⁸

Este razonamiento metafísico de dudosa lógica difícilmente iba a encontrar respeto en la comunidad científica a su tiempo. Además, la cuestión de la convertibilidad e indestructibilidad de la energía de-



James Prescott Joule (1818-1889) en una inusual combinación de retrato y diagrama. Aquí se le muestra comparando los efectos calóricos de dos embobinados de alambre sumergidos en agua.

pende de la prueba experimental por un lado y, por otro, de una definición apropiada del concepto de energía, más bien que de una identificación a priori de la energía basada en nociones vagas de causa y efecto. Sin embargo, Mayer trató de justificar sus afirmaciones y mediante los pocos trabajos experimentales que realizó, encontró una nueva expresión para el trabajo dada por $W = P \Delta V$, así como un equivalente mecánico del calor.

Pero fue Joule el que más se esforzó por encontrar una equivalencia entre el calor y la energía mecánica. Con su amigo William Thomson llevó a cabo una cuidadosa investigación del comportamiento de los gases, para determinar hasta qué punto la energía potencial podría ser almacenada o liberada durante la expansión, sometiendo el análisis, hecho por primera vez por Mayer, a una prueba más crítica. En una conferencia ofrecida en Manchester en 1847 Joule expresó:

"La opinión que más ha prevalecido últimamente, ha sido que (el calor) es una sustancia que posee, como cualquier otra sustancia, impenetrabilidad y extensión. Nosotros hemos demostrado, sin embargo, que el calor puede ser convertido en fuerza viviente (energía cinética) y en atracción a través del espacio, (energía potencial). Es perfectamente claro, por

⁷ Idem. p. 446.

⁸ Idem. p. 458.

tanto, que salvo que la materia pueda ser convertida en atracción a través del espacio, que es una idea demasiado absurda para considerarse por un momento, la hipótesis de que el calor debe ser una sustancia debe abandonarse. Por tanto, el calor debe consistir ya sea en fuerza viviente o en atracción a través del espacio... Estoy inclinado a creer que se encontró que ambas hipótesis eran correctas;... se encontrará que el calor sensible consiste en la fuerza viviente de las partículas de los cuerpos en los cuales es inducido; mientras que en otros (casos), particularmente en el caso del calor latente, los fenómenos son producidos por la separación de partícula a partícula, de manera que haga que se atraiga una a otra a través de un espacio mayor".⁹

Luego de una aceptación lentamente creciente del principio enunciado por Mayer y Joule, el concepto fue extendido cuantitativamente para que incluyera otros fenómenos mecánicos, tales como propagaciones ondulatorias y flujo de fluidos. El físico alemán Helmholtz (1821-1894) publicó un trabajo en 1847 en el cual dio un tratamiento cuantitativo de la energética de ciertos fenómenos eléctricos, magnéticos y químicos, simples. La conservación de la energía tuvo un importante papel en el desarrollo de una comprensión de la luz y el electromagnetismo; es, por otra parte uno de los pilares fundamentales de la teoría de la relatividad.

En un periodo de más de 120 años, los científicos han desarrollado una profunda fe en la validez fundamental de las leyes de la conservación como expresiones de orden en la naturaleza. Es, por tanto, deseable analizar poco más profundamente el estado lógico de estas aseveraciones. ¿Son las leyes de conservación definiciones o convenciones esencialmente convenientes, como Poincaré implica en algunas de sus discusiones. Si, en algunos casos, la ley de la conservación de la energía pareciera que fallara ¿podremos siempre ser capaces de rehabilitarla inventando una nueva partícula o una nueva forma de energía?

Al respecto, Karl Popper, el lógico y filósofo de la ciencia, argumenta que las hipótesis científicas nunca pueden ser conclusivamente verificadas debido a que es imposible probarlas para cada uno de los infinitos casos particulares a los cuales podrían aplicarse, pero señala que las hipótesis científicas podrían, por lo menos, diferenciarse de los sistemas matemáticos o aun metafísicos por el criterio de falsificación; debe ser posible, en principio, refutarlas o demostrar que son falsas recurriendo a la experiencia: "... lo que caracteriza al método empírico es su manera de exponer las falsificaciones, en toda forma concebible, al sistema que va a ser puesto a prueba. Su mira no es salvar las vidas de sistemas insostenibles sino, por el contrario, escoger aquél que por su comparación sea el que más se ajusta, exponiéndolos a todos ellos a la más fiera lucha por la supervivencia".¹⁰

El profesor Bridgman argumenta que las leyes de conservación son realmente infalsificables en este sentido; que están lejos de ser tautologías o convenciones puras:

"Un comentario de Poincaré es a menudo citado al efecto de que si alguna vez encontramos que la ley de

conservación de la energía pareciera fallar, la reabríamos inventando una nueva forma de energía. Esto me parece a mí que es una engañosa y parcial caracterización de la situación. Si en cualquier situación específica la ley claramente fallara, indudablemente nosotros trataríamos primero de mantener la ley inventando una nueva forma de energía, pero cuando la hubiéramos inventado demandaríamos que fuera una función (de números o parámetros, que describen el estado del sistema) y que la ley continuara siendo válida para toda la infinita variedad de combinaciones, en las cuales los nuevos parámetros podrían hacerse intervenir. Que la conservación continuara siendo válida bajo tales condiciones extendidas, podría determinarse solamente por el experimento. El concepto de energía está muy lejos de ser simplemente una convención".¹¹ ⊕

11 Ibidem.

El "Doctor Flogisto". Estas palabras eran el título original de esta caricatura del siglo XVIII que hacía mofa del científico-clérigo inglés Joseph Priestley por sus ideas radicales sobre política y religión, y su defensa de la antigua teoría de que el fuego no era más que la liberación de un misterioso elemento llamado flogisto.



⁹ Idem, p. 458.
¹⁰ Idem, p. 451.