

# ENERGÍA, ENTROPÍA Y RELIGIÓN. UN REPASO HISTÓRICO

Por

Stefan Pohl-Valero<sup>1</sup>, Favio Cala Vitery<sup>2</sup>

## Resumen

**Pohl Valero, S & F. Cala Vitery:** Energía, entropía y religión. Un repaso histórico. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **34** (130): 37-52, 2010. ISSN 0370-3908.

Este artículo elabora un repaso histórico de la emergencia de la termodinámica, de los abordajes historiográficos que ha recibido esta ciencia y de su relación con los debates cosmológicos y religiosos de finales del siglo XIX. El desarrollo conceptual que desembocará en la formulación de la conservación de la energía y en el concepto de entropía es abordado en la primera parte del presente trabajo. La segunda parte dibuja, brevemente, el panorama historiográfico de la termodinámica, llamando la atención sobre los variados significados históricos que tuvieron los conceptos de la energía y la entropía y sobre su influencia en el mundo social y cultural de la época. Un aspecto puntual de la interacción entre termodinámica y sociedad será analizado en la última parte del artículo, al explorar la forma como las leyes de la termodinámica estuvieron informadas por cuestiones teológicas y cómo a su vez estas leyes articularon discursos tanto materialistas y naturalistas como de apología cristiana.

**Palabras clave:** termodinámica, energía, entropía, historiografía, cosmología, ciencia y religión.

## Abstract

This article builds a historical review of the emergence of thermodynamics, its historiographical approaches, and its links with the late XIX century cosmological and religious debates. The conceptual developments that lead to the formulation of energy conservation and to the concept of entropy are discussed in the first part of the article. The second part depicts briefly the historiographical panorama of thermodynamics, focusing on the several historical meanings that were ascribed to the concepts of energy and entropy and their respective influence on the cultural and social milieu. A key aspect of the society-thermodynamics interaction is analyzed in the last part of the article: the way in which the laws of thermodynamics were influenced by theological views and how, concurrently, these laws enabled the construction of materialistic, naturalistic and Christian apologetic discourses.

**Key words:** thermodynamics, energy, entropy, historiography, cosmology, science and religion.

<sup>1</sup> Departamento de Historia, Universidad Javeriana. Correo electrónico: spohl@javeriana.edu.co

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Jorge Tadeo Lozano. Correo electrónico: favio.cala@utadeo.edu.co

### Desarrollo conceptual de la termodinámica: en la búsqueda de unidad

En la segunda mitad del siglo XIX la energía fue el concepto fundamental que articuló una concepción unificada de los fenómenos físicos. Para los científicos de finales del siglo XIX la energía significaba la base conceptual que cohesionaba todo el campo de la física, la más grande de todas las generalizaciones exactas. Representaba, en otras palabras, la meta de un largo camino en la búsqueda de una conceptualización unitaria de la naturaleza y sus fenómenos. Esta búsqueda de unidad y armonía se puede rastrear desde el inicio de la cultura occidental, estando presente desde el materialismo de **Epicuro** –que conocemos a través de **Lucrecio**– hasta la física contemporánea en lo que el físico **Steven Weinberg** ha llamado “el sueño de una teoría final” (**Serres**, 1994; **Weinberg**, 2003).

Sin ir tan lejos, una de sus expresiones filosóficas se encuentra en la *Naturphilosophie* alemana de finales del siglo XVIII. Esta filosofía romántica expresaba una firme creencia en la existencia de un principio simple y unificador de todos los fenómenos naturales. Baste recordar las palabras de uno de sus principales representantes, **Friedrich Schelling** (1775-1854), quien sostenía: “los fenómenos magnéticos, eléctricos, químicos y hasta orgánicos, deberían estar entrelazados formando una gran asociación... [la cual] abarca toda la naturaleza” (**Schelling**, 1790; citado en **Kuhn**, 1982: 121-122). Igualmente encontramos esta búsqueda de unidad y simplicidad en el supuesto de economía de la naturaleza característico de la filosofía de la Ilustración. El matemático y filósofo **Jean D’Alambert** (1717-1783) reflejaba a la perfección esta mentalidad económica con su obsesión por un ideal de ciencia universal y deductiva, en el que cada conocimiento particular estaba subordinado de forma lógica al menor número de principios posibles y a los más generales. La Ilustración aportaba pues, una visión de la naturaleza como un ente económico en el que se producían el mayor número de efectos con el menor número de causas (**Hankins**, 1988).

Otra *Weltanschauung* que aportaba un soporte filosófico a la concepción de un mundo físico, si no unificado, al menos compuesto por fenómenos correlacionados, era la *Escuela Escocesa del Sentido Común* del siglo XVIII. En ella, y en especial a través de **Thomas Brown** (1778-1820), se describía al mundo como un conjunto de fenómenos cuyas causas era imposible hacer inteligibles. Según **Brown**, las causas y los efectos en el mundo natural no eran más que sucesiones invariables que la experiencia no podía distinguir; no obstante, a partir del sentido común, era posible derivar de la experiencia nociones coherentes de las causas de los fenómenos. Y la manera de lograr esto

era considerar a las causas como principios de asociación de ideas en la mente. Desde esta perspectiva, el estudio de la naturaleza era válido, no como la búsqueda de las últimas causas, sino como la búsqueda de sus correlaciones. Esta posición permitía considerar a los fenómenos de la naturaleza, no de manera aislada sino correlacionados mediante las fuerzas físicas, con lo que, invariablemente, unos fenómenos se convertían en otros (**Morus**, 1991: 601-604).

Aunque no necesariamente relacionadas directamente con la *Naturphilosophie* u otros supuestos filosóficos, a finales del siglo XVIII estas ideas eran un lugar común para los filósofos naturales. La idea en sí era simple y llamativa, el problema era aplicarla a los muy diversos fenómenos que ocurrían en la naturaleza: ¿Cómo lograr dar una explicación coherente y unificada del disímil comportamiento de los diferentes fenómenos naturales?

Uno de los patrones con que algunos de los científicos de la época se proponían abordar los fenómenos terrestres era la teoría de la gravitación desarrollada por **Isaac Newton** (1642-1727) en el siglo XVII. Su teoría había demostrado que a partir de un tratamiento matemático era posible predecir fenómenos que se correspondían con la observación: utilizando la mecánica basada en las leyes del movimiento (inercia, momentum y acción-reacción) y aplicando la teoría newtoniana de la gravitación –que postula que los cuerpos celestes (como la Tierra o el Sol) se atraen entre ellos con una fuerza proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre sus centros–, se podía predecir, por ejemplo, que la Tierra giraba alrededor del Sol siguiendo una trayectoria elíptica, resultado que se corroboraba con datos astronómicos.

En los *Principia (Philosophiae naturalis principia mathematica*, 1687), **Newton** había desarrollado una ciencia matemática aplicada a la mecánica. Mediante ecuaciones que expresaban relaciones geométricas, **Newton** logró resolver problemas físicos de la mecánica, como el estudio de las fuerzas y los cambios de movimiento. Este tipo de abordaje matemático, o “mecánica racional” aplicada al estudio del movimiento de los planetas se llamó entonces mecánica celeste. En su famoso libro, **Newton** destacaba la esperanza de que todos los fenómenos pudiesen ser tratados de manera análoga y daba como ejemplo un tratamiento matemático al fenómeno de la refracción óptica (**Harman**, 1990: 27-28).

A lo largo del siglo XVIII, la matematización de los fenómenos físicos obtuvo grandes éxitos especialmente en el campo de la mecánica y, en gran parte debido a la *Optiks* (1704) de **Newton**, la idea de una física especulativa y

basada en modelos atómicos se convirtió en el modelo a seguir. De este modo, la “mecánica racional” al ser aplicada a los fenómenos físicos admitió el uso de entes explicativos hipotéticos tales como las fuerzas intercorpúsculares de corto alcance para poder dar explicación matemática de su comportamiento. Aunque en el siglo XVIII el estudio del calor, la electricidad y el magnetismo fue en gran medida cualitativo, siempre estuvo presente el “newtonian dream” de abordar estos fenómenos de una forma cuantitativa y matemática. Uno de los grandes objetivos de la física de esa época consistió entonces en tratar de explicar los fenómenos terrestres de la misma forma como lo había realizado la mecánica celeste del siglo XVII con respecto a los fenómenos planetarios (Cala, 2006).

Al finalizar el siglo XVIII, este tipo de aproximación a la física terrestre fue abordado de forma sistemática por científicos franceses tales como **Pierre Simon de Laplace** (1749-1827), **Siméon Denis Poisson** (1811-1842) o **Jean-Baptiste Biot** (1774-1862). La denominada por el historiador **Robert Fox**, “Física Laplaciana”, era una física que buscaba dar cuenta de todos los fenómenos en la escala terrestre y particularmente en la escala molecular, en términos de fuerzas centrales entre partículas ya fueran atractivas o repulsivas. Estas fuerzas eran tratadas de forma análoga a las fuerzas Newtonianas de gravitación (Fox, 1990: 279). **Laplace** tenía como objetivo construir una física unificada, es decir, lograr reducir los fenómenos físicos a un único sistema explicativo, en su caso, al de partículas ejerciendo fuerzas repulsivas y atractivas entre ellas a una muy corta distancia. Bajo este modelo, la hipótesis de que el calor, la luz, la electricidad y el magnetismo fueran considerados como entes materiales, pero cada uno con características particulares, resultó ser muy conveniente.

Bajo esta aproximación los denominados fluidos imponderables tomaron una nueva dimensión, en el sentido que pasaron de ser una teoría vaga y cualitativa a una cuantitativa y matematizable. El modelo estándar de finales del siglo XVIII, como lo ha denominado **John Heilbron**, contaba con seis fluidos ajenos a la acción de la gravedad, además de la materia ordinaria. La interacción de la materia y estos fluidos daba cuenta de los fenómenos del mundo físico. Así, de acuerdo con la física Laplaciana, la materia ordinaria ejercía sobre sí misma las fuerzas de gravedad,

cohesión, afinidad química y capilaridad, mientras que, entre los imponderables, las partículas de la luz interactuaban con la materia ordinaria; el fluido eléctrico (podían ser dos) y el magnético interactuaban entre sí y con la materia; y el fluido del calor o calórico, cuyas partículas se repelían entre sí, daba cuenta de la existencia de diversas fuerzas de cohesión, sin cuya intervención toda la materia terrestre ponderable se colapsaría en una gran masa (Heilbron, 1993: 5-7).

La física Laplaciana logró aplicar su teoría a los fenómenos de la luz y el calor tratándolos como el resultado de las fuerzas que se ejercían entre las partículas de la materia ordinaria y las de estos fluidos imponderables a distancias muy pequeñas, siendo por lo tanto posible representarlos mediante sistemas de ecuaciones diferenciales<sup>3</sup>. En general, el modelo estándar fue interpretado como un modelo que no representaba necesariamente la realidad pero que aportaba una excelente herramienta para poder cuantificar y matematizar los fenómenos terrestres. Muchos de sus seguidores, aunque reconocieron su posible no realidad, destacaron sus ventajas pedagógicas y su capacidad de representar los resultados de la experiencia. Por ejemplo, **Lavoisier & Laplace**, que perfeccionaron la teoría del calórico, reconocieron que la teoría rival –según la cual el calor es una forma de movimiento– podía explicar igualmente todos sus resultados (Heilbron, 1993: 16-23).

En los años veinte del siglo XIX, el programa de **Laplace** empezó a ser abandonado y otras teorías e hipótesis sobre la naturaleza de los fenómenos terrestres comenzaron a tomar fuerza. No obstante, la búsqueda de una explicación unificada de los fenómenos naturales se mantuvo intacta. Un claro ejemplo de esto fueron los trabajos del científico francés **Augustin-Jean Fresnel** (1788-1827) que, rechazando la idea corpuscular de la naturaleza de la luz, propuso que este agente podía ser considerado como un tipo de vibración en un fluido etéreo. La teoría expuesta por **Fresnel** era opuesta a la de **Laplace**, pero sus expectativas similares. **Fresnel** vislumbraba un mundo físico unificado en el que el calor, la luz y otros agentes imponderables serían sólo diferentes tipos de movimiento en un fluido universal<sup>4</sup>. Al inicio de sus investigaciones, en 1814, le escribió una carta a su hermano donde sugería una alternativa a la materialidad de la luz y el calor que podía tener

3 En el caso del calor, uno de los seguidores del programa de **Laplace**, **Siméon Denis Poisson** dio un tratamiento matemático a la conducción de este agente a través de cuerpos sólidos a partir de fuerzas repulsivas y atractivas que se ejercían entre las moléculas de la materia del cuerpo y las del fluido calórico. De esta forma logró obtener una ecuación general del movimiento del calor. Para un estudio general de la influencia y contexto de la física Laplaciana, véase **Fox**, 1990.

4 **Silliman** ha argumentado que la idea de unidad en la física por parte de **Fresnel** se basaba en su creencia en la economía de la naturaleza: esta produce el máximo número de efectos con el mínimo número de causas. (**Silliman**, 1974).

la gran ventaja de abarcar varios fenómenos a la vez, es decir, de unificarlos (citado en **Silliman**, 1974: 146):

Te cuento que estoy muy tentado a creer en las vibraciones de un fluido especial para la transmisión de la luz y el calor. Uno podría explicar la uniformidad de la velocidad de la luz como uno explica la del sonido; y tal vez uno podría ver en las perturbaciones del equilibrio de este fluido la causa de los fenómenos eléctricos. Uno podría fácilmente concebir por qué un cuerpo pierde tanto calor sin perder peso, por qué el sol nos ha iluminado por tanto tiempo sin haber disminuido su volumen<sup>5</sup>.

La idea de unidad en la naturaleza siguió articulándose a lo largo de la primera mitad del siglo XIX, mediante diversos experimentos que permitieron encontrar nuevas relaciones entre fenómenos en apariencia diferentes. En este proceso de articulación, el éter jugó un papel esencial, ya que permitió incorporar la luz y el calor radiante en el marco explicativo de la mecánica y permitió que estos fenómenos estuvieran sujetos a la conservación de la fuerza viva<sup>6</sup>. La fuerza viva y su conservación había sido postulada por **Gottfried Leibniz** (1664-1716) como la masa por el cuadrado de la velocidad ( $mv^2$ ); a diferencia de **René Descartes** (1596-1650), **Leibniz** sostenía que esta era la cantidad que se conservaba en la naturaleza y no la masa por la velocidad ( $mv$ ). Una vez desarrollado el concepto de trabajo, a lo largo del siglo XVIII, éste se relacionó con la fuerza viva. El concepto de trabajo se gestó paralelamente desde la reflexión teórica y la práctica en la ingeniería, permaneciendo separadas estas dos aproximaciones por muchas décadas. A principios del siglo XIX fue comúnmente aceptado que el trabajo mecánico (llamado también por los ingenieros capacidad, o efecto mecánico) se definiera como la integral de la fuerza con respecto a la distancia en que se ejercía esa fuerza. Así, el ‘trabajo’ fue la medida básica para comparar la capacidad de las máquinas (**Cardwell**, 1967). Desde el campo teórico de la mecánica, por su parte, el concepto de fuerza viva fue redefinido como la mitad del postulado por Leibniz ( $1/2mv^2$ ) para poder utilizar el concepto de trabajo como la unidad de medida de la fuerza viva (**Hermann**, 1990: 53-59):

$$T = \int F \cdot dx = \int v \cdot dv = 1/2mv^2 \text{ [N}\cdot\text{m]}$$

5 La traducción es nuestra.

6 Sobre el papel unificador del éter en el siglo XIX véase **Siegel**, 1981; **Wise**, 1981.

7 Al respecto, véase respectivamente **Cardwell**, 1989; **Morus**, 1991; **Caneva**, 1993.

8 **Mayer** no pretendió reducir el calor a movimiento. Para él, el calor y el trabajo mecánico estaban causalmente conectados por medio de una medida cuantitativa de su equivalencia. Pero a pesar de que los dos eran interpretados como fuerzas, Mayer no los asumía como idénticos en esencia. Sobre la concepción de Mayer sobre fuerza y calor, véase **Harman**, 1976; **Caneva**, 1993.

Que la luz y el calor radiante fueran vistos como un tipo de movimiento transmitido a través del éter, unificaba estos dos fenómenos, lo cual coincidía con los experimentos realizados por el científico italiano **Macedonio Melloni** (1798-1854) que demostraban que tanto la luz como el calor radiante se reflejaban, se refractaban y se polarizaban, es decir, tenían comportamientos análogos. Por el otro lado, y reforzado por lo anterior, el concebir el calor en los cuerpos como un movimiento de sus partículas permitía hacer inteligible el supuesto de conservación de la fuerza viva en la conversión de trabajo en calor. La idea de que el calor y el trabajo eran interconvertibles fue expuesta y demostrada experimentalmente en la década de 1840 por diversos científicos, entre ellos **James Prescott Joule** (1818-1889), **William Robert Grove** (1811-1896) y **Julius Robert Mayer** (1814-1878), aunque bajo supuestos diferentes<sup>7</sup>. A partir de esta correlación entre trabajo y calor, si este último era visto como un tipo de movimiento, cuando el trabajo mecánico desaparecía y aparecía calor, se podía interpretar que la fuerza viva externa (trabajo) se transformaba en fuerza viva interna del cuerpo (calor) conservándose su cantidad. Aunque algunos de los científicos que calcularon el equivalente mecánico del calor en los años cuarenta del siglo XIX —y que postularon de una u otra forma un concepto de conversión y conservación— no aceptaban la teoría mecánica del calor (por ejemplo **Mayer**)<sup>8</sup>, la teoría del calor como un modo de movimiento fue la concepción que aportó un fundamento explicativo en términos mecánicos de la conversión y conservación de las capacidades naturales. El fundamento mecánico de la luz, el calor y la conservación se articulaba a través del éter, y satisfacía así la visión de una ciencia física unificada.

A finales de la década de 1840, el físico y fisiólogo alemán **Hermann von Helmholtz** (1821-1894) aportó una formulación matemática del principio de conservación. En su *Über die Erhaltung der Kraft* (1847), **Helmholtz** analizaba las fuerzas en sistemas mecánicos y demostraba que en un sistema cerrado las fuerzas se transformaban unas en otras y no se aniquilaban. Su formulación del principio de conservación de la fuerza se basaba en la imposibilidad del movimiento perpetuo y en el modelo newtoniano de fuerzas centrales (**Bevilacqua**, 1993: 2-3). Aunque su texto no tuvo inicialmente gran acogida entre la comunidad científica, posteriormente sería presentado como la primera formulación general de la conservación de la energía.

Durante las décadas de 1850 y 1860 y especialmente debido a un grupo de científicos e ingenieros escoceses, [**William Thomson** (1824-1907), **Peter Guthrie Tait** (1831-1901), **Macquorn Rankine** (1820-1872), **James Clerk Maxwell** (1831-1879) y **Fleeming Jenkin** (1833-1885)], el concepto fundamental al que se le debía aplicar la idea de conversión y conservación fue ampliamente aceptado bajo el término de *energía* (Smith, 1998: 1). De esta forma el calor, el trabajo, la electricidad, el magnetismo y la luz se volvían simplemente manifestaciones diferentes de un mismo concepto, el de energía. En el universo la energía permanece constante y lo que se transforma son sus manifestaciones. Así, el enunciado de la conservación de la energía cumplió una función unificadora en los fenómenos físicos de manera fundamental: la idea de unidad tomó consistencia científica bajo los conceptos de convertibilidad y conservación; siendo el concepto de energía el sustrato de donde surgía la unidad. A partir de la consolidación de la *ciencia de la energía*—que como ha mostrado el historiador **Crosbie Smith**, fue un producto del mencionado grupo de científicos escoceses— se introdujo un profundo cambio conceptual que produjo una concepción física totalmente nueva (Smith, 1998: 2):

Aunque fundamentalmente mecánico en su naturaleza, el universo dejó de ser entendido tanto en términos de fuerzas ejerciendo su acción a distancia, como en términos de partículas discretas moviéndose a través de un espacio vacío, el universo se consideró entonces como un continuo de materia poseída de energía cinética<sup>9</sup>.

La teoría mecánica del calor fue presentada por este grupo de científicos británicos como el fundamento esencial para la emergencia de la nueva ciencia de la energía. Como diría **Thomson** ante la *British Association for the Advancement of Science* (BAAS) en 1854, el descubrimiento de **Joule** de la conversión del calor en trabajo y el cálculo de su equivalente habían “conducido a la mayor reforma que la ciencia física había sufrido desde los días de **Newton**” (Citado en Harman, 1990: 77). En 1859 **Rankine** consolidó la palabra termodinámica, así como la terminología de la *primera y segunda ley de la termodinámica*. Esto lo hizo en su libro *Manual of the Steam Engine and Other Prime Movers* (1859), que posteriormente **Maxwell** calificó como el primer tratado escrito sobre la materia (Smith, 1998, cap. 8).

No obstante, en la década de 1840 **Thomson** había tenido muchos problemas en aceptar los experimentos de Joule sobre el equivalente mecánico del calor, ya que tenía la convicción de que éste se conservaba en la generación de trabajo mecánico en las máquinas térmicas. En ese momento **Thomson** estaba familiarizado con un importante texto para la historia de la termodinámica, pero que en ese momento era muy poco conocido, y que postulaba precisamente que el calor era un fluido que se conservaba en el ciclo de operación de una máquina de vapor (Smith y Wise, 1989: 294-296).

En efecto, el ingeniero francés **Sadi Carnot** (1796-1832) había publicado en 1824 un texto en el que analizaba el funcionamiento de las máquinas térmicas y buscaba de forma teórica la manera de optimizar su eficiencia. En su *Réflexions sur la puissance motrice du feu* se postulaban los rudimentos de lo que posteriormente se llamaría la segunda ley de la termodinámica. **Carnot** argumentaba que sólo se podía generar trabajo en una máquina térmica en la medida que existiera un flujo de calor que pasara de una temperatura elevada a una inferior. Sin esta diferencia de temperaturas ningún dispositivo térmico podría funcionar, es decir, producir trabajo; esta era la característica esencial que debía tener una máquina térmica. El fluido con que funcionaba la máquina (vapor, aire, etc.) era para **Carnot** solamente el vehículo a través del cual el calor se transportaba de la caldera al condensador. Dada una misma cantidad de calor, entre mayor diferencia de temperaturas hubiera, se produciría una mayor cantidad de trabajo. Para que las máquinas no fueran ilimitadamente eficientes, **Carnot** situaba como límite el que fijaba una máquina perfectamente reversible en la que la capacidad motriz producida por una cantidad de calor cayendo de una temperatura a otra, era exactamente la misma que se necesitaba para elevar la misma cantidad de calor a su temperatura inicial. Una mayor producción de trabajo significaría sacarlo de la nada, lo cual implicaría la posibilidad de construir una máquina perpetua—posibilidad que ya había sido ampliamente rechazada para esa época<sup>10</sup>.

En términos generales, la teoría de **Carnot** admitía que el calor era un fluido imponderable (calórico) que se conservaba en la producción de trabajo mecánico y postulaba que este trabajo sólo se producía si existía una diferencia de temperaturas<sup>11</sup>. Aunque posteriormente el texto de **Carnot** fue considerado de gran importancia, en su momento no

9 La traducción es nuestra.

10 Ya en 1775 la Real Academia de Ciencias en París había decidido rechazar todo trabajo que postulara la posibilidad de construir una máquina de movimiento perpetuo. Al respecto, véase **Ord-Hume**, 1980.

11 **Robert Fox**, estudiando los apuntes de **Carnot**, ha encontrado que antes de su muerte, este ingeniero estaba modificando su teoría, cuestionando la idea de que el calórico se conservaba. Bajo esta nueva perspectiva, **Carnot** empezó a pensar en que el calor se transformaba en trabajo y viceversa (Fox, 1986).

logró un gran impacto entre sus contemporáneos. Unos años después, en 1834, las ideas de Carnot fueron reelaboradas y expresadas en lenguaje matemático por **Émile Clapeyron** (1799-1864), pero su trabajo tuvo igualmente poca acogida (**Papanelopoulou**, 2004: 2).

La conservación del calor en los procesos descritos por **Carnot** era el gran problema con el que **Thomson** se debía enfrentar al considerar los experimentos de Joule que parecían demostrar que el calor no se *conservaba* sino que se *transformaba*. Cuando el calor produce trabajo, ¿se comporta como agua en un molino, o como carbón que se consume? **Thomson** se enfrentaba al problema de unificar estos dos conceptos de tal forma que produjeran una imagen de la naturaleza consistente. La solución la aportó **Rudolf Clausius** (1822-1888) en su memoria *Über die bewegende Kraft der Wärme* (1850), al hacer notar que lo esencial en el principio de **Carnot** era la necesidad que tenía el calor de pasar de una temperatura mayor a una menor en la producción de trabajo en un proceso cíclico, y no que éste se conservara. La observación de **Clausius** permitió enunciar los dos principios que posteriormente **Rankine** llamaría las dos leyes de la termodinámica: 1) El calor se transforma en trabajo, es decir, las pérdidas aparentes de energía mecánica en los procesos mecánicos eran en realidad una transformación de parte de esta energía mecánica en energía calorífica. 2) En la generación de trabajo, en un proceso cíclico, una parte del calor que cae de una temperatura mayor a una inferior se convierte en trabajo y el resto desciende a la temperatura menor. Es decir, existe una tendencia a que el calor pase de un cuerpo más caliente a uno más frío. La segunda ley de la termodinámica establecía entonces que en los procesos en los que la energía se transformaba, parte de ésta tendía a dispersarse en forma de calor. La cantidad de energía disponible para realizar trabajo disminuía inexorablemente en los sistemas cerrados. Esta tendencia direccional y de incremento de desorden en un sistema termodinámico fue acuñada por **Clausius** como *entropía*<sup>12</sup>. En síntesis, **Clausius** postuló las dos leyes de la termodinámica de la siguiente forma: “La energía del universo es constante. La entropía del universo tiende a un máximo” (**Clausius**, 1865: 400).

Una conceptualización mecánica del calor y, de forma general, de la energía, con el trabajo como su medida esencial, dominó la física en la segunda mitad del siglo XIX, aunque el significado de energía no asumió un significado inequívoco. Esto se vio reflejado en las numerosas historias de la conservación de la energía que se escribieron an-

tes de que se cerrara el siglo, dando lugar a múltiples controversias sobre la prioridad y sobre el significado científico y filosófico de las diferentes formulaciones de la conservación de la energía (**Bevilacqua**, 1993: 291). Por ejemplo, hacia el final del siglo emergió una perspectiva diferente que hacía énfasis en la independencia de la energía con respecto a la mecánica. Esta corriente, esencialmente alemana, trató de desplazar el fundamento mecánico en el que se basaba la física. **Ernst Mach** (1838-1916) propuso por ejemplo que se tomara el principio de la conservación de la energía como una formulación que describía un amplio rango de hechos de forma concisa, directa y económica, pero que no requería en absoluto de hipótesis mecánicas. **Mach** concebía la ciencia de la energía como un sistema de relaciones que permitían relacionar y describir un amplio rango de hechos físicos sin tener que recurrir a hipótesis especulativas acerca de su funcionamiento (**Mach**, 1872; **Mach**, 1986 [1896]). Por otro lado, los químicos alemanes **Georg Helm** (1851-1923) y **Wilhelm Ostwald** (1853-1922), propusieron derivar las ecuaciones de movimiento a partir de la conservación de la energía otorgándole a este concepto la base fundacional de la mecánica. Estos “energeticistas” rechazaban la teoría atomista así como otras teorías de la materia a favor de un universo de energía (**Smith**, 2003: 309). **Ostwald**, a partir de su energética, intentó desarrollar una filosofía de la naturaleza y de la cultura. Su sistema metafísico, o como él la llamó energética social, era una generalización de las leyes de la energía que pretendían aportar las bases de una teoría y práctica moral, de la acción política y de la felicidad (**Hakfoort**, 1992).

A principios del siglo XX, independientemente de las diversas conceptualizaciones de la energía, este término significó para sus historiadores el gran descubrimiento del siglo XIX y el verdadero elemento unificador de la física. Uno de ellos, **Theodore Merz**, afirmaba en su monumental *A History of European Thought in the Nineteenth Century* que (**Merz**, 1903, vol. 2: 96):

Un término más general debía ser encontrado bajo el cual los diferentes términos podían ser comprendidos, lo que daría una aún mayor generalización, una más completa unificación del conocimiento. Uno de los principales resultados de la segunda mitad del siglo XIX ha sido encontrar ese término más general... el más grande de todas las generalizaciones exactas — la concepción de energía<sup>13</sup>.

12 En términos matemáticos, la entropía fue caracterizada como el cociente entre el calor producido en el proceso y la temperatura absoluta en que ocurría la transformación.

13 La traducción es nuestra.

## La historiografía de la termodinámica

Las palabras de **Merz** reflejan la idea de que en algún momento del siglo XIX se descubrió un concepto con el que se pudo concretar la búsqueda de unidad en la física. El concepto de la energía se interpretó como el máximo progreso alcanzado por la física decimonónica. La reconstrucción histórica de este suceso ha resultado ser muy controvertida desde su mismo inicio y las aproximaciones historiográficas han variado enormemente. Las historias de la termodinámica, prestándole atención ya fuera al contenido o al contexto de la formulación de sus leyes, se han centrado por lo general en la emergencia de la nueva ciencia, pero no en sus implicaciones sociales y culturales.

Una de las primeras narrativas históricas que aportó una visión “externalista” a la emergencia de la termodinámica fue el artículo de **Thomas Kuhn**, “Energy Conservation as an Example of Simultaneous Discovery” (**Kuhn**, 1982)<sup>14</sup>. A pesar del debate que generó la selección realizada por Kuhn de “doce descubridores” del principio de la conservación de la energía, su artículo de 1959 aportó un acercamiento que no se centraba en defender la prioridad del “descubrimiento” entre unos determinados actores, sino que trató de situar este proceso en un contexto determinado. Para **Kuhn**, el hecho de que en un periodo corto de tiempo un número considerable de hombres de ciencia en Europa se hubieran acercado de forma esencial al concepto de energía y al de su conservación, tenía que ser entendido como un proceso en el que la clave debía estar en el contexto social e intelectual en el que surgía este concepto. Según **Kuhn**, la lista de descubridores la conformaron doce personas. Cuatro de ellas, **James Joule**, **Hermann von Helmholtz**, **Robert Julius Mayer** y **L. A. Colding** (1815-1888) combinaron la generalidad en la formulación del concepto con aplicaciones concretas y cuantitativas. Esto ocurrió entre 1842 y 1847. Otros cuatro, **Sadi Carnot**, antes de 1832, **Marc Seguin** (1786-1875) en 1839, **Karl Holtzmann** en 1845 y **Gustav Adolf Hirn** (1815-1890) en 1854, calcularon un valor para el coeficiente de conversión entre calor y trabajo. Aunque estos últimos cuatro científicos no formularon el concepto de energía de forma general, tenían la firme convicción de que el trabajo y el calor eran cuantitativamente intercambiables. El tercer grupo, entre 1837 y 1844, y conformado por **William Robert Grove** (1811-1896), **Karl Friedrich Mohr** (1806-1879), **Michael Faraday** (1791-1867) y **Justus von Liebig** (1803-

1873), no aportaron una demostración cuantitativa pero todos “describieron el mundo de fenómenos como manifestación de una sola ‘fuerza’, que aparecía en formas eléctricas, térmicas, dinámicas y muchas otras, pero que en todas sus transformaciones nunca podía ser creada ni destruida” (**Kuhn**, 1982: 92-93).

**Kuhn** afirmaba en su artículo que existieron unos elementos esenciales en el clima científico europeo de ese periodo (entre 1830 y 1850) que permitieron una nueva visión de la naturaleza con la que se pudo enunciar el principio de conservación de la energía. En este sentido, **Kuhn** hablaba de tres “factores detonantes” que indujeron a que esos elementos se volvieran accesibles: disponibilidad de procesos de conversión, interés por las máquinas térmicas y la filosofía de la naturaleza o *Naturphilosophie*. El primero hacía referencia a los diversos experimentos realizados después de 1800 en los que se mostraba una posible conversión de un fenómeno físico en otro, por ejemplo se descubrió que a partir de una reacción química (pila de Volta) se podía obtener corriente eléctrica, o que ésta producía calor o luz, o que la corriente eléctrica producía efectos magnéticos. El segundo factor resaltaba el creciente interés por las máquinas hidráulicas y térmicas que se generó en el siglo XVIII y que prosiguió en el XIX en el contexto de la revolución industrial. Dentro de este contexto se desarrolló el concepto de “trabajo” que servía para medir el rendimiento de las máquinas. De acuerdo a **Kuhn**, este concepto fue fundamental para la determinación de la conservación de la energía. El movimiento filosófico alemán de finales del siglo XVIII, denominado *Naturphilosophie*, fue el último factor identificado por **Kuhn**. Este movimiento percibía a la naturaleza como un organismo y buscaba un principio unificador que diera cuenta de todos los fenómenos naturales. En este sentido, afirmaba **Kuhn**, la *Naturphilosophie* fue un “adecuado antecedente filosófico para el descubrimiento de la conservación de la energía” (**Kuhn**, 1982: 123).

El artículo de **Kuhn** fue el punto de partida para numerosas investigaciones dedicadas a esclarecer el papel de los factores y protagonistas aludidos en su artículo en el establecimiento y conceptualización de la ley de la conservación de la energía<sup>15</sup>. Uno de los aspectos que se reveló en esta serie de investigaciones fue la muy divergente naturaleza de la conceptualización de ese algo llamado energía que habían realizado varios de los personajes de la

14 El artículo fue publicado originalmente en 1959.

15 Al respecto véase entre otros: (**Bevilacqua**, 1993; **Brush**, 1970; **Caneva**, 1993 y 1997; **Cardwell**, 1967 y 1971; **Harman**, 1974 y 1976; **Silliman**, 1974; **Wise**, 1979).

lista de **Kuhn**. Así, se desarrollaron teorías que tomaron forma desde perspectivas culturales muy diferentes, y que comprendían desde la tradición en ingeniería de Manchester hasta la metafísica alemana (**Smith**, 1990: 336). En otras palabras, el concepto de energía y la redefinición que acarreo en el campo de la física, demostró no ser un proceso universal que se expandió sin dificultades desde un centro generador.

En la década de 1960 otras aproximaciones históricas hacia la termodinámica empezaron a emerger. Uno de sus historiadores, **Erwin Hiebert**, publicó en 1966 un artículo en el que se proponía un enfoque alternativo al estudio histórico de la termodinámica. En su “Uses and Abuses of Thermodynamics in Religion,” **Hiebert** se preguntaba por los usos que se le habían dado a conceptos físicos del siglo XIX para responder cuestiones religiosas, y en particular rastreaba la influencia que había ejercido la termodinámica en el pensamiento religioso (**Hiebert**, 1966).

Una década después, en 1978, el historiador de la física **Stephen Brush** publicó un libro titulado *The temperature of History. Phases of Science and Culture in the Nineteenth Century* en el que trataba de establecer conexiones generales entre la física y la cultura (**Brush**, 1978). **Brush** argumentaba que los conceptos fundamentales de la teoría del calor fueron *leitmotiv* de los movimientos culturales del siglo XIX –romanticismo, realismo y neo-romanticismo– y que los puntos de vista filosóficos de estos movimientos se vieron reflejados en la actitud de los científicos con respecto a la naturaleza del calor y a las leyes de la termodinámica. Aunque el libro fue criticado por una excesiva simplificación y periodización de la cultura general de la época y por catalogar de forma ingenua a determinados científicos dentro de esta clasificación cultural (**Porter**, 1981), aportaba, no obstante, algunas ideas sugerentes. Al argumentar que la física pasó por periodos de romanticismo y realismo, **Brush** resaltaba que esto fue posible porque en el siglo XIX la física se encontraba en un proceso incipiente de especialización y profesionalización, con lo que más que científicos, existían filósofos naturales interesados por muy diversas áreas del saber. Igualmente **Brush** resaltaba que la física de la época no era tan esotérica y que sus conceptos tenían un alto grado de visibilidad a través de publicaciones culturales periódicas, charlas y conferencias públicas y libros populares. Esto permitía que mucha gente opinara sobre la física y que ella se convirtiera en una poderosa fuerza cultural, generadora de

ideas y críticas sociales que un lector culto podía asimilar y discutir (**Brush**, 1978, cap. 2).

El trabajo de **Crosbie Smith** *The Science of Energy. A cultural History of Energy Physics in Victorian Britain* es uno de los trabajos más extensos que exploran los aspectos socio-culturales que influyeron en la emergencia de la termodinámica. En este importante estudio de 1998, **Smith** exploraba las características económicas y culturales relacionadas con un grupo de científicos del norte de Gran Bretaña (**Thomson, Maxwell, Rankine, Tait**, etc.) que construyeron la ciencia de la energía. En particular **Smith** aludía a aspectos como una profunda cultura industrial, valores religiosos, posiciones ideológicas y la elaboración y existencia de redes sociales e institucionales en el proceso de construcción de la nueva ciencia. Una de las conclusiones del trabajo de **Smith** resaltaba que la doctrina de la energía tuvo un significado determinado que se originó en la cultura industrial británica. La forma como sus protagonistas interpretaron y expusieron las dos leyes de la termodinámica se vieron moldeadas además por sus valores presbiterianos. La conservación y la disipación de la energía fueron presentadas como fieles representantes de una visión de la naturaleza acorde con las doctrinas cristianas que ellos tenían. Por un lado, que el hombre pudiera utilizar la energía del universo en su propio provecho aseguraba su libre albedrío, pero, por el otro, que parte de esta energía se disipara sin que se pudiera volver a aprovechar, estaba de acuerdo con la visión calvinista de la criatura caída, con la de un hombre imperfecto. El hecho que la energía no pudiera ser ni creada ni destruida y que, para el hombre, ésta se fuera disipando, caracterizaba la creación del universo por un Dios supremo y el carácter transitorio de la parte material de éste (**Smith**, 1998, cap. 6).

Toda esta serie de estudios –que por lo general se han centrado en el contexto británico<sup>16</sup>– nos demuestra que términos tales como la energía o la entropía no son conceptos monolíticos y universales sino que sus significados sufrieron múltiples transformaciones y fueron utilizados para diversos fines. Para el círculo de **Thomson** y **Maxwell**, por ejemplo, las leyes de la energía sirvieron para respaldar una visión cristiana del cosmos; la ciencia de la energía se convirtió en una confirmación física de verdades morales. Pero a la vez, en las manos de pensadores sociales como **Balfour Stewart** (1828-1887) o **Thomas Henry Huxley** (1825-1895), la idea de la disipación de la energía sirvió para caracterizar –y criticar– una sociedad

16 Importantes excepciones son **Papanelopoulou**, 2004; **Pohl-Valero**, 2007, que trabajan, respectivamente, el contexto francés y español.



comunista destinada a la muerte térmica, y el concepto general de energía para defender una sociedad capitalista (Myers, 1989). No obstante, el uso de los conceptos termodinámicos a la hora de pensar cuestiones religiosas o sociales no respondía a una única posición política. Al igual que como ocurrió con el darwinismo, tanto pensadores de derechas como de izquierdas se apropiaron de las leyes de la termodinámica para legitimar de forma científica sus posturas religiosas e ideológicas<sup>17</sup>. El hecho es que estas leyes, sus cambiantes significados físicos, teológicos y sociales, tuvieron una amplia circulación en la esfera pública europea, influyendo en diferentes ámbitos culturales y sociales.

### Cosmología, teología y termodinámica

Una vez formuladas las leyes de la termodinámica, éstas informaron un amplio debate cosmológico que tuvo como telón de fondo dos concepciones diferentes del universo: uno infinito, eterno y cíclico, y otro claramente delimitado, con un principio y un fin. En torno a este debate es importante señalar que la cosmología, esto es, el estudio del universo como conjunto, su origen y su futuro, ha tenido históricamente una íntima relación con las creencias religiosas, siendo de hecho durante mucho tiempo un campo de estudio de la teología. Como ha identificado Helge Kragh, algunas de las principales preguntas que la cosmología se ha hecho a lo largo de la historia han sido (Kragh, 2004: 3):

- ¿Ha existido siempre el mundo, o por el contrario tuvo un origen? ¿Y tendrá un final?
- ¿Es el mundo, en términos espaciales, finito o infinito?
- ¿Cuál es la relación entre el universo espacial y el material?
- ¿Es el mundo estático o está en estado de evolución?
- ¿De dónde vinieron originalmente la materia (y la energía)? ¿Todavía se les está creando?
- ¿Son las leyes de la naturaleza, como se conocen en su entorno natural, aplicables a todo el universo?

Las leyes de la termodinámica aportaron elementos fundamentales en la discusión de estas preguntas generando una significativa, y también controversial, interacción entre la ciencia y la religión. De este modo, la cosmología fue importante para la teología, pero a la vez,

la teología fue importante también en el debate científico de la cosmología. Como se mencionó anteriormente, la conservación de la energía y la entropía tuvieron múltiples interpretaciones cosmológicas y teológicas, reflejando el carácter complejo de la relación entre ciencia y religión.

Tradicionalmente la historia de la ciencia ha abordado la relación entre ciencia y religión desde una perspectiva que presupone una imagen estática, ya sea de conflicto y confrontación, de separación absoluta (diferentes esferas de prácticas no que no tienen nada que ver entre ellas), o de relación positiva. No obstante, la historiografía actual ha reevaluado este tipo de imágenes llamando la atención sobre la complejidad y el carácter histórico de la relación (Brooke, 1991; Brooke y Cantor, 1998; Ferngren 2002; Gregory 2003; Lindberg y Numbers, 2003). Un aspecto importante a tener en cuenta es que además de los diferentes tipos de relaciones, las interacciones no sólo se basan en cuestiones epistemológicas, en las que se confrontan, se evitan o se apoyan contenidos científicos y contenidos teológicos, sino que la interacción traspasa el ámbito cognitivo y se inserta en significados sociales y culturales más amplios. Las diversas reconstrucciones de la naturaleza que han elaborado los científicos a lo largo de la historia han estado no pocas veces informadas por consideraciones teológicas, culturales y sociales, además de físicas. Y estas reconstrucciones han tenido múltiples interpretaciones por parte de individuos y grupos sociales. Como argumenta Gary Ferngren, los esfuerzos por complejizar la interacción entre ciencia y religión se pueden resumir en el rechazo de la historiografía actual hacia aproximaciones presentistas y esencialistas. Entendiéndose *presentismo* como la tendencia de moldear el pasado empleando definiciones y creencias modernas, y *esencialismo* como la suposición de que las ideas o las disciplinas son básicamente las mismas en todas las épocas. Tanto ciencia como religión han tenido significados muy diferentes a lo largo de la historia. La filosofía natural del siglo XVII tiene una connotación muy diferente a la de física en el siglo XX. Igualmente las fronteras de los contenidos y discusiones *puramente* científicos han demostrado ser muy maleables, y en todo caso no pueden ser definidas por lo que un científico actual consideraría como lo adecuado (Ferngren, 2002: xi).

Y es justamente en torno al desarrollo histórico de la termodinámica que la relación entre ciencia y religión se nos presenta como un campo de análisis inmensamente

17 Al respecto, véase por ejemplo Bayertz, 1983; Girón Sierra, 2005; Pohl-Valero, 2009.

rico y complejo. No es sólo que algunos “divulgadores” de la termodinámica decidieran recurrir a sus leyes –y por lo tanto a la autoridad de la ciencia– para respaldar discursos apologeticos o materialistas, sino que los mismos científicos (o filósofos naturales como se denominaban en esa época) que articularon sus leyes operaban en un contexto donde las cuestiones filosóficas, teológicas y físicas no eran del todo separables tanto en términos disciplinares como epistemológicos. La ciencia del siglo XIX era una actividad humana que apenas se estaba profesionalizando y especializando y el quehacer científico abarcaba de forma compleja inquietudes de muy variada índole. Ya hemos mencionado cómo el círculo de **Thomson** integró la ciencia de la energía –y especialmente la tendencia en la naturaleza a la disipación de la energía– a una lectura cristiana del cosmos. Sobre este punto volveremos más adelante. Por ahora nos detendremos en la primera ley de la termodinámica y la forma como articuló discursos materialistas y apologeticos.

Durante la segunda mitad del siglo XIX, desde diferentes ámbitos científicos e intelectuales europeos, se fueron creando los espacios necesarios que permitieron una nueva y reforzada concepción materialista de la naturaleza. Mediante esta concepción se argumentaba que una explicación basada en la interacción mecánica de la materia era la forma adecuada y suficiente para desvelar todos los secretos de la naturaleza, incluyendo aquellos relacionados con los procesos orgánicos y mentales (**Gregory**, 2003: 43). Este materialismo científico resaltaba la eternidad del universo y su absoluta determinación por leyes naturales, con lo que la presencia de un Dios creador y omnipresente se volvía del todo irrelevante. El principal argumento científico que sancionaba este determinismo físico, de acuerdo a los materialistas y naturalistas científicos, era la ley de la conservación de la energía. La interpretación determinista del universo que hiciera el físico británico **John Tyndall** (1820-1893), o la promoción de un materialismo científico que expusiera el médico alemán **Ludwig Büchner** (1824-1899) eran sólo algunos ejemplos del tipo de discursos que derivaban su autoridad de la ley científica de la conservación de la energía.

**Tyndall** fue uno de los principales divulgadores de la ley de la conservación de la energía a través de conferencias y libros muy populares como *Heat as a mode of motion*<sup>18</sup>. El punto culminante de la posición materialista de **Tyndall** se presentó en el discurso dirigido a la British

Association for the Advancement of Science (BAAS) en Belfast en 1874. En este discurso, **Tyndall** afirmaba que la ciencia tenía la capacidad de investigar todos los aspectos de la naturaleza a partir de sus leyes, ya que la naturaleza dependía absolutamente de estas leyes, siendo la primera y la base de todas las demás la conservación de la energía. Los fenómenos vitales y físicos estaban bajo el dominio de esa ley de conexión causal; las leyes de la naturaleza eran entonces causales a partir de la conservación de la energía. Esta posición le permitía a **Tyndall** interpretar la ley de la conservación de la energía como la ley natural que excluía de forma definitiva la posibilidad de una interpretación sobrenatural del universo: todo hacia delante y hacia atrás tenía una conexión causal y por lo tanto no había necesidad de una entidad sobrenatural en la explicación de la historia natural.

La posición de **Tyndall** se inscribía dentro de la corriente del naturalismo científico británico que abogaba por la búsqueda de causas exclusivamente observadas empíricamente en la naturaleza, las cuales se interpretaban a través de tres teorías principales: la teoría atómica de la materia, la conservación de la energía y la teoría de la evolución (**Turner**, 1981: 174). A partir de esta interpretación naturalista, el cosmos era concebido como un lugar material autorregulable, auto-sostenible y en eterna evolución, lo que contrastaba claramente con la perspectiva cristiana de un cosmos invariable y con principio y final.

El caso del médico alemán **Ludwig Büchner** es igualmente ilustrativo. **Büchner** formaba parte del llamado materialismo científico que se desarrolló en los países alemanes a mediados del siglo XIX y que a diferencia del naturalismo británico era mucho más amplio en su concepción filosófica materialista y en términos generales más especulativo en cuanto a la conducta y el pensamiento humano (**Gregory**, 1977). En uno de sus libros más famosos, *Kraft und Stoff*, Büchner proponía una visión del mundo que sólo se basaba en hechos empíricos y que rechazaba el recurrir a cualquier tipo de explicación metafísica<sup>19</sup>. En este sentido no había cabida para argumentos sobrenaturales o idealistas en la explicación de los eventos y procesos naturales incluyendo en esto al hombre. La base argumentativa de **Büchner** se desprendía de la aseveración de la inseparabilidad de la materia y la fuerza: “No hay fuerza sin materia; no hay materia sin fuerza”, de lo cual argumentaba que la fuerza no podía ser entendida como una entidad sobrenatural. Una fuerza creadora que formó

<sup>18</sup> Este libro se publicó originalmente en 1855. La primera traducción al español se realizó en 1885 (**Tyndall**, 1885).

<sup>19</sup> A finales del siglo XIX el libro de Büchner había visto innumerables ediciones y se había traducido a más de 17 idiomas.

el mundo a partir de la nada era entonces absurda ya que esa fuerza no tenía sentido sin la presencia de la materia. Así pues, todo evento en la naturaleza, tanto orgánico como inorgánico, seguía unas leyes mecánicas que se aplicaban a la materia, siendo ésta eterna. **Büchner** rechazaba por lo tanto la idea de una entidad individual creadora del universo y afirmaba la eternidad de la materia. Siguiendo ideas de otros materialistas científicos como el zoólogo **Karl Vogt** (1817-1895) o el fisiólogo **Jakob Moleschott** (1822-1893), **Büchner** incluía en su determinismo mecánico el pensamiento y la voluntad humana.

En sus especulaciones filosóficas, **Büchner** basaba la principal fuente de autoridad en el carácter empírico de las ciencias naturales y en este sentido la idea general de la conservación de la energía en el universo representó para él la confirmación irrefutable de la inmortalidad de la materia y la fuerza. Tal como lo destacaba en el prólogo de la octava edición de su libro, la teoría de la evolución de Darwin y la ley de la conservación de la energía eran las teorías científicas que respaldaban de forma contundente su forma de ver al mundo (**Büchner**, 1868: 251):

Al escribir diez años ha el libro FUERZA Y MATERIA, no podía prever que las continuas investigaciones de los naturalistas iban a dar las más brillantes pruebas de lo que yo vaticinaba, a despecho de todas las opiniones admitidas, y que particularmente mis ideas sobre la inmortalidad de la materia recibirían pronto su complemento necesario en el hecho de la conservación o inmortalidad de la fuerza, posteriormente descubierto. Tampoco adiviné que vendrían los más violentos ataques a destruir el dogma, considerado como infalible, de la no existencia de la generación primitiva y de la inmortalidad de las especies, y que la célebre teoría de Darwin reuniría al mundo entero de los organismos antiguos y modernos en una sola concepción grandiosa. Ignoraba asimismo el próximo e inesperado desarrollo de esas teorías y la de las celdillas, destinadas a dar la ley del reino animal lo mismo que la del reino vegetal.

Los discursos de personajes como **Tyndall** o **Büchner** han sido analizados en sus contextos locales y de acuerdo a intenciones específicas. Por ejemplo, la utilización que hizo **Tyndall** de la ley de la conservación de la energía para rechazar cualquier explicación sobrenatural del funcionamiento del universo, ha sido interpretada históricamente dentro de un proceso de profesionalización destinado a

legitimar la autonomía y secularización de los científicos victorianos (**Turner**, 1981; **Barton**, 1987). Igualmente, el discurso materialista de **Büchner** ha sido enmarcado dentro de una estrategia que buscaba proporcionar una forma efectiva de oposición a los poderes políticos reaccionarios. Poderes que habían derrotado las aspiraciones liberales y nacionalistas alemanas después del fracaso de la revolución de 1848 (**Gregory**, 1977; **Heidelberger**, 1998).

Dentro de este proyecto secularizador que buscaba cuestionar la autoridad de la Iglesia y su íntima relación con el Estado, tanto la ciencia como la historia jugaron un papel discursivo importante. En el largo repaso histórico que realizara el químico británico **John Draper** (1811-1882) para demostrar el freno irremediable que suponía la religión católica para el avance de las ciencias, los argumentos termodinámicos no estaban ausentes. En su famoso libro, *History of the Conflict Between Religion and Science*, **Draper** explicaba una visión alternativa a la idea cristiana de un Dios personal que había creado el universo y las almas inmortales de los humanos<sup>20</sup>. Los argumentos de **Draper** no pretendían aportar una visión del mundo materialista, sino rescatar una visión espiritualista alejada, no obstante, de los dogmas católicos. Para **Draper**, en el universo no había un “Ser Supremo” sino un “Poder Supremo” que estaba absolutamente determinado por unas leyes naturales inmutables (**Draper**, 1876: 25):

La fuerza vital que llena el mundo es lo que los ignorantes llaman Dios; las modificaciones porque pasan todas las cosas tienen un lugar de un modo irresistible, y por esto puede decirse que el progreso del mundo, bajo el destino, es como una semilla que no puede germinar sino de un modo determinado.

A partir de un universo caracterizado por una “Fuerza Suprema”, la idea de un Dios personal era reemplazada entonces por la de una inteligencia impersonal y por la idea de un alma que “nace de él y vuelve a él”. En otras palabras **Draper** relacionaba el concepto de energía con la idea de un dios indeterminado o inteligencia impersonal, y recurría a la ley de su conservación para demostrar la eternidad del universo y la imposibilidad de continuas creaciones de almas (**Draper**, 1876: 130-131):

En la India fue donde primero descubrieron los hombres el hecho de que la fuerza es indestructible y eterna. Esto implica ideas más o menos distintas de lo que llamamos ahora “correlación y conservación”.

<sup>20</sup> Al igual que los textos de **Büchner** y **Tyndall**, el libro de **Draper** fue inmensamente popular en la segunda mitad del siglo XIX. Publicado originalmente en 1874, ya en 1876 existían dos traducciones al español.

Consideraciones relacionadas con la estabilidad del universo dan fuerza a esta opinión, puesto que es palmario que si alguna vez hubiera, ya un aumento, ya una disminución, cesaría el orden del mundo. La cantidad definida e invariable de la energía del universo debe ser aceptada, por lo tanto, como un hecho científico; los cambios que presenciamos sólo se refieren a su distribución.

Pero toda vez que el alma debe considerarse como un principio activo, dar existencia a una nueva, sacada de la nada, es necesariamente aumentar la fuerza primitiva del mundo. Y si esto se ha verificado cada vez que ha nacido un individuo y ha de repetirse de aquí en adelante, la totalidad de la fuerza debe ir continuamente aumentando.

A pesar de su íntima relación con discursos naturalistas y materialistas, la conservación de la energía también fue interpretada de forma armónica con supuestos teológicos, a la vez que estos supuestos fueron readaptados a sus leyes. Así como se habló de materialismo y naturalismo científico, también se elaboraron “apologías científicas” de la fe cristiana, o exposiciones científicas que resaltaban el carácter antimaterialista de sus leyes. Tan popular como los libros de **Büchner**, **Tyndall** o **Draper**, lo fueron textos como los escritos por el jesuita y astrónomo italiano **Angelo Secchi** (1818-1878) y sus esfuerzos por armonizar las nuevas leyes de la física con las creencias religiosas. Si cada vez que se nombraba la palabra “materialismo” en la esfera pública europea de la segunda mitad del siglo XIX, los nombres de **Tyndall**, **Büchner** o **Draper** eran imprescindibles, otro tanto ocurría con el nombre de **Secchi** cuando el discurso apuntaba a destacar la armonía entre física y religión.

En efecto, en el libro titulado *L'Unità delle Forze Fisiche. Saggio di Filosofia Naturale*, publicado en Italia en 1864, **Secchi** se proponía presentar los últimos adelantos de la física reunidos de forma sintética (**Secchi**, 1869: vi-viii)<sup>21</sup>. **Secchi** abogaba en su libro por aportar hipótesis que sintetizaran la física, y afirmaba que las fuerzas ya no podían ser consideradas como cualidades ocultas de la materia sino como meros efectos del movimiento. **Secchi**, a partir de una concepción atomista de la materia, postulaba que los fenómenos físicos tales como el calor, la luz, la electricidad y el magnetismo eran explicables en términos exclusivos de la interacción de la materia y el éter. Así como el calor era un movimiento de las partículas de los cuerpos,

o la luz era la vibración del éter, de igual forma se podían explicar los fenómenos electromagnéticos. El énfasis de **Secchi** residía en un argumento ontológico que negaba la realidad de la energía, presentando este concepto como el resultado de dos conceptos más básicos: materia y movimiento. Para **Secchi**, la idea de energía era confusa y se prestaba a que se le otorgaran poderes ocultos y que diera lugar a sofismas. Por consiguiente, una vez explicado el concepto de energía en términos de materia (tanto ponderable como etérea) y movimiento se evitaba toda confusión y se hacía necesaria una causa primera que hubiera generado el movimiento, causa que no era otra, esgrimía **Secchi**, que la mano de Dios.

Además de este argumento ontológico –que tuvo acogida entre diversas comunidades científicas europeas–, en el contexto europeo existieron otras estrategias por evitar que las leyes de la termodinámica se relacionaran con, o sustentaran una visión materialista del universo. Por ejemplo, algunos científicos británicos, entre ellos **William Thompson**, **James Maxwell**, **Peter Tait** o **Balfour Stewart**, resaltaron que la segunda ley caracterizaba un universo en concordancia con las creencias religiosas. Un libro inmensamente popular en Gran Bretaña [tuvo 14 ediciones en trece años (**Myers**, 1989: 327)], *The Unseen Universe* (1875), escrito por los filósofos naturales **Peter G. Tait** (1831-1901) y **Balfour Stewart** (1828-1887), fue un intento de desvincular “la ciencia de la energía” de una posición materialista. En particular, el libro esgrimía refutaciones a las “ideas materialistas” expuestas por **Tyndall** y hacía un esfuerzo por aportarle credibilidad científica a la idea de la inmortalidad del alma (**Harman**, 1972; **Myers**, 1989). El argumento principal de este libro se desprendía del significado religioso que se le podía otorgar a la segunda ley de la termodinámica y que había sido elaborado por los filósofos naturales que habían construido la ciencia de la energía, en especial **Thomson** y **Maxwell** (**Smith**, 1998, cap. 12).

Si la primera ley de la termodinámica podía sugerir un universo eterno y cíclico, era precisamente la segunda ley la que evitaba tal suposición. En los procesos en que la energía se transformaba, una parte de ésta siempre se disipaba en forma de calor. Esto significaba que esta energía no podía volver a ser transformada en su totalidad y por lo tanto no era más aprovechable. La ley de la disipación de la energía caracterizaba un universo material que necesariamente debía tener un inicio y que se dirigía inevitablemente hacia un fin, aquel donde toda la energía estaría disipada en forma de calor y por lo tanto no habría posibilidad de

21 Para este trabajo se ha consultado la edición francesa del libro de **Secchi** publicada en 1869.

ningún tipo de vida. En otras palabras el principio de disipación era una ley natural que negaba la idea de un universo eterno y cíclico.

Cuando **Thomson** publicó su artículo “On a Universal Tendency in Nature to the Dissipation of Mechanical Energy”, en el que explicaba la muerte térmica del universo como consecuencia de la tendencia natural de la energía a disiparse en forma de calor, se estaba escribiendo una profecía bíblica con la autoridad de una fórmula matemática (**Thomson**, 1852). La segunda ley de la termodinámica se convertía así en una confirmación física de una verdad moral. **Thomson** veía en la muerte térmica del universo una confirmación científica de la visión decadente de la tierra expuesta en el Antiguo Testamento y en especial en el pasaje Isaías 51:6 (**Smith**, 1976)<sup>22</sup>. Para **Thomson**, las dos leyes de la energía caracterizaban precisamente el contraste que aparecía en este pasaje bíblico que anunciaba el fin de la tierra y la desaparición de los cielos, pero a la vez la eternidad de la salvación. Este contraste entre temporalidad y eternidad se reflejaba en las leyes de la energía: en la tierra desaparecería el pecado así como se disiparía la energía, pero igualmente la salvación, la rectitud y la energía permanecerían para siempre (**Myers**, 1989: 318).

Hace ya varios años el historiador **Stephen Brush** comentaba que la ley de la disipación de la energía pareció tener poco impacto en el mundo filosófico e intelectual europeo durante la segunda mitad del siglo XIX. Según **Brush**, sólo después de 1900 aparecieron constantes referencias de esta ley y sus consecuencias cosmológicas. Gracias a obras divulgativas de científicos como **James Jeans** o **Artur Eddington** se logró que la idea de la muerte térmica del universo fuera una noción conocida entre los hombres cultos europeos (**Brush**, 1978, cap. 5).

Si bien la primera ley tuvo mucho mayor presencia en la esfera pública de la época, la segunda ley no pasó desapercibida. Ciertamente, y como comentaba **Brush**, la popular obra de **Tyndall**, *Heat as a mode of motion*, no hacía referencia a la posibilidad de la muerte térmica, y de hecho **Büchner** en su *Fuerza y materia* tampoco lo hacía. Evidentemente, tanto para **Tyndall** como para **Büchner** la idea de un universo material con un fin establecido iba en detrimento de su visión naturalista del universo y no era por lo tanto sorprendente su omisión del tema. No obstante, **Büchner** trataría el tema en detalle en su texto *Licht und Leben* publicado en 1882 y traducido al español en 1888. El

texto constaba de tres capítulos y el segundo, “La circulación de las fuerzas y el fin del mundo”, se dedicaba exclusivamente a este tema. **Büchner** se había interesado especialmente por la termodinámica gracias a su amigo e ingeniero **Christian Otto Mohr** (1835-1918), el cual era un experto en estos temas (**Gregory**, 1977: 156). Así pues, **Büchner** explicaba la muerte térmica del universo como consecuencia de la ley de disipación, pero criticaba a sus defensores por llevar sus consecuencias a extremos inaceptables. **Büchner** no aceptaba que la ley de la entropía caracterizara un universo que se dirigía inexorablemente a un fin total en el que el movimiento y la vida cesarían del todo. El significado que le otorgaba **Büchner** a la muerte térmica del universo se caracterizaba por su carácter local. Esta ley predecía correctamente el fin de los sistemas solares pero no evitaba que otros sistemas se formaran. Por lo tanto, argumentaba **Büchner**, la entropía demostraba científicamente que en el universo existían procesos cíclicos de origen y disolución, tal como era la vida misma, pero de forma global el universo era eterno e imperecedero (**Büchner**, 1888, cap. 2).

La escasa mención de la ley de la entropía en los libros más populares que hablaban sobre la unidad de las fuerzas físicas, posiblemente le restó visibilidad en la esfera pública. En todo caso, intelectuales católicos empezaban a utilizar la segunda ley de la termodinámica como argumento antimaterialista en la década de 1880. Una de las principales fuentes de este argumento provino de un libro escrito por el canónigo y decano de la facultad de Letras de la Universidad de Toulouse, **Marc Antonie Duilhé de Saint-Projet** (1822-1897). Este profesor de apologética católica publicó en 1885 un libro que pretendía hacer “la contra-prueba de las certidumbres de la fe por medio de las certidumbres de la ciencia” (**Duilhé**, 1886: xvii). El libro fue traducido al castellano en 1886 bajo el nombre de *Apología científica de la fe cristiana*. En su texto, **Duilhé** se basaba expresamente en el libro de **Tait** y **Stewart**, *The Unseen Universe*, a la hora de utilizar las leyes de la termodinámica en su apologética. Criticando la obra de **Büchner**, *Luz y vida*, **Duilhé** negaba la posibilidad de que se crearan nuevos soles y planetas “cargados de seres tan desgraciados como nosotros.” Esta visión materialista de un universo cíclico y eterno era refutada entonces mediante la segunda ley de la termodinámica que, en palabras de **Duilhé** “nos enseña, como si lo tocáramos con las manos, el principio y el fin del universo físico presente” (**Duilhé**, 1886: 144).

<sup>22</sup> El pasaje reza así: “Alzad a los cielos vuestros ojos, y mirad abajo a la tierra; porque los cielos serán deshechos como humo, y la tierra se envejecerá como ropa de vestir, y de la misma manera perecerán sus moradores; pero mi salvación será para siempre, mi justicia no perecerá.”

Independientemente de su instrumentalización como argumento de apología cristiana, a muchos científicos de la época les impresionó que semejante “profecía” pudiera estar definida en los términos de una ecuación matemática. El físico español **Enrique Serrano Fatigati**, aunque rechazaba la posibilidad de que toda la energía del universo se disipara, resaltaba no obstante que “la promesa de muerte leída por **Thomson** en los sencillos caracteres de los términos de una ecuación parece quitar toda esperanza de encontrar otro futuro destino en el estudio del desenvolvimiento de la materia; esta profecía tiene toda la fuerza de una deducción perfectamente lógica, de una verdad demostrada severamente” (**Serrano Fatigati**, 1873: 75). De forma similar, **Helmholtz** resaltaba en una de sus charlas populares la sagacidad que había demostrado tener **Thomson** al escribir un artículo en el que “en las letras de una vieja conocida fórmula matemática, que sólo habla de calor, volumen y la presión de los cuerpos, fue capaz de distinguir unas consecuencias que, aunque con seguridad después de un periodo infinito de tiempo, amenazan el universo con una muerte eterna” (**Helmholtz**, 1885: 172-173). Impresión que la literatura no tardó en recoger, tal como lo reflejara la famosa novela de **H. G. Wells**, *La máquina del tiempo*, en la que al viajar 30 millones de años al futuro, su protagonista vislumbrara justamente esa promesa de muerte leída por **Thomson**<sup>23</sup> y que **Jorge Luis Borges** expresaría con las siguientes palabras (**Borges**, 1975: 222-223):

La primera ley de la termodinámica declara que la energía del universo es constante; la segunda, que esa energía propende a la incomunicación, al desorden, aunque la cantidad total no decrece. Esa gradual desintegración de las fuerzas que componen el universo, es la entropía. Una vez alcanzado el máximo de entropía, una vez igualadas las diversas temperaturas, una vez excluida (o compensada) toda acción de un cuerpo sobre otro, el mundo será un fortuito concurso de átomos. En el centro profundo de las estrellas, ese difícil y mortal equilibrio ha sido logrado. A fuerza de intercambios el universo entero lo alcanzará, y estará tibio y muerto.

La luz se va perdiendo en calor; el universo, minuto por minuto, se hace invisible. Se hace más liviano también. Alguna vez, ya no será más que calor: calor equilibrado, inmóvil, igual. Entonces habrá muerto.

## Bibliografía

- Barton, R.** 1987. “John Tyndall, Pantheist. A rereading of the Belfast Address”, *Osiris*, 3, pp. 111-134.
- Bayertz, K.** 1983. “Naturwissenschaft und Sozialismus: Tendenzen der Naturwissenschafts-Rezeption in der deutschen Arbeiterbewegung des 19. Jahrhunderts”, *Social Studies of Science*, 13, pp. 355-394.
- Bevilacqua, F.** 1993. “Helmholtz’s Über die Erhaltung der Kraft”, en David Cahan. (ed.), *Hermann von Helmholtz and the foundations of nineteenth-century science*. University of California Press. Berkeley, pp. 291-333.
- Borges, J. L.** 1975. “La doctrina de los círculos”, en *Prosa*. Círculo de Lectores. Barcelona, pp. 216-223.
- Brooke, J.** 1991. *Science and Religion*. Cambridge University Press. Cambridge.
- , **Cantor, G.** 1998. *Reconstructing Nature. The Engagement of Science and Religion*. T&T Clark Ltd. Edinburgh.
- Brush, S.** 1970. “The Wave Theory of Heat: A Forgotten Stage in the Transition from the Caloric Theory to Thermodynamics”, *BJHS*, 5, pp. 145-167.
- . 1978. *The temperature of History. Phases of Science and Culture in the Nineteenth Century*. Burt Franklin. New York.
- Büchner, L.** 1868. *Fuerza y materia. Estudios populares de historia y filosofía naturales*. Librería de Alfonso Durán. Madrid.
- . 1888. *Luz y vida. Tres lecciones populares de Historia Natural: el sol en sus relaciones con la vida, la circulación de las fuerzas y el fin del mundo, de la filosofía de la generación*. Est. tip. de San Francisco de Sales. Madrid.
- Cala, F.** 2006. “La cuestión 31 de la óptica o el programa de las fuerzas en la filosofía mecánica”, *Scientiae Studia: Revista Latino-Americana de Filosofía e História da Ciência*, 4, pp. 163-176.
- Caneva, K.** 1993. *Robert Mayer and the conservation of energy*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey.
- . 1997. “Physics and ‘Naturphilosophie’: A reconnaissance”, *History of Science*, 35, pp. 35-106.
- Cardwell, D. S. L.** 1967. “Some Factors in the Early Development of the Concepts of Power, Work and Energy”, *BJHS*, 3, pp. 209-224.
- . 1971. *From Watt to Clausius: the rise of thermodynamics in the early industrial age*. Heinemann Educational. London.
- . 1989. *James Joule: A Biography*. Manchester University Press. Manchester.
- Clarke, B.** 2001. *Energy Forms. Allegory and Science in the era of classical thermodynamics*. The University of Michigan Press. Ann Arbor.
- Draper, J. W.** 1876. *Historia de los conflictos entre la religión y la ciencia*. Imprenta de Aribau. Madrid.
- Duilhé de Saint-Projet, Marc Antonie.** 1886. *Apología científica de la fe cristiana*. Imprenta de Manuel Alufré. Valencia.
- Ferngren, G. B.** 2002. “Introduction”, en Gary B Ferngren. (ed.), *Science and Religion: A Historical Introduction*. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, pp. ix-xiv.
- Fox, R.** 1986. “Introduction”, en Robert Fox. (ed.), *Sadi Carnot. Reflexions on the motive power of fire. A critical edition with the surviving manuscripts translated and edited by Robert Fox*. Lilian Barber Press Inc. New York, pp. 1-57.

- . 1990. "Laplacian Physics", en R. C. Olby; G. N. Cantor. (eds.), *Companion to the History of Modern Science*. Routledge. London, pp. 278-294.
- Girón Sierra, A.** 2005. *En la mesa con Darwin: evolución y revolución en el movimiento libertario en España (1869-1914)*. C.S.I.C. Madrid.
- Gregory, F.** 1977. *Scientific Materialism in Nineteenth-Century Germany*. D. Reidel Publishing Company. Dordrecht.
- . 2003. "Interactions of Physical Science and Western Religion in the Nineteenth and Twentieth Centuries", en Mary Jo Nye. (ed.), *The Cambridge History of Science. Volume 5. The Modern Physical and Mathematical Sciences*. Cambridge University Press. Cambridge, pp. 36-53.
- Hakfoort, C.** 1992. "Science Deified: Wilhem Ostwald's Energeticist World-View and the History of Scientism", *Annals of Science*, 49, pp. 525-544.
- Hankins, T. L.** 1988. *Ciencia e Ilustración. Siglo XXI*. Madrid.
- Harman, P. M.** 1972. "The Unseen Universe: Physics and the Philosophy of Nature in Victorian Britain", *BJHS*, 6, pp. 73-79.
- . 1973. "Conversion of Forces and the Conservation of Energy", *Centaurus*, 66, pp. 147-161.
- . 1974. "Helmholtz and Kant: the metaphysical foundations of 'Ueber die Erhaltung der Kraft'", *Studies in History and Philosophy of Science*, 5, pp. 205-238.
- . 1976. "Mayer's Concept of 'Force': The 'Axis' of a New Science of Physics", *Historical Studies in the Physical Sciences*, 7, pp. 277-296.
- . 1990. *Energía, fuerza y materia. El desarrollo conceptual de la física del siglo XIX*. Alianza Editorial. Madrid.
- Heidelberger, M.** 1998. "Büchner, Friedrich Karl Christian Ludwig (Louis) (1824-99)", en Edward Craig. (ed.), *Routledge Encyclopedia of Philosophy CD-ROM*. Routledge. London.
- Heilbron, J. L.** 1993. *Weighing Imponderables and Other Quantitative Science Around 1800*. University of California Press. Berkeley.
- Helmholtz, H.** 1885. *Popular Lectures on Scientific Subjects*. D. Appleton and Co. New York.
- Hiebert, E.** 1966. "The Uses and Abuses of Thermodynamics in Religion", *Daedalus*, 95, pp. 1046-1080.
- Kragh, H.** 2004. *Matter and Spirit in the Universe. Scientific and Religious Preludes to Modern Cosmology*. Imperial College Press. London.
- Kuhn, T. S.** 1982. "La conservación de la energía como ejemplo de descubrimiento simultáneo", en Thomas S. Kuhn, *La tensión esencial. Estudios selectos sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia*. Fondo de Cultura Económica. México, pp. 91-128.
- Lindberg, D. C.; Numbers, R. L.** (eds.). 2003. *When Science and Religion Meet*. University of Chicago Press. Chicago.
- Mach, E.** 1872. *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit*. Calve. Prag.
- . 1986 [1896]. *Principles of the theory of heat: Historically and critically elucidated*. D. Reidel Publishing Company. Dordrecht.
- Merz, J. T.** 1965 [1903]. *A History of European Thought in the Nineteenth Century*, 4 volúmenes. Dover. New York.
- Morus, I. R.** 1991. "Correlation and control: William Robert Grove and the construction of a new philosophy of scientific reform", *Studies in History and Philosophy of Science*, 22, pp. 589-621.
- Myers, G.** 1989. "Nineteenth-Century popularizations of Thermodynamics and the Rhetoric of Social Prophecy", en Patrick Brantlinger. (ed.), *Energy & Entropy. Science and Culture in Victorian Britain*. Indiana University Press. Bloomington, pp. 307-338.
- Ord-Hume, A.** 1980. *Perpetual motion: the history of an obsession*. St. Martin's Press. New York.
- Papanelopoulou, F.** 2004. "The Emergence of Thermodynamics in Mid-19th-Century France", D. Phil Thesis, Oxford University.
- Pohl-Valero, S.** 2007. "La 'circulación' de la energía: Una historia cultural de la termodinámica en la España de la segunda mitad del siglo XIX", Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona.
- , S. 2009. "The Circulation of Energy: Thermodynamics, National Culture and Social Progress in Spain, 1868-1890", en Faidra Papanelopoulou; Agustí Nieto-Galan; Enrique Perdiguerro (eds.), *Popularizing science and technology in the European periphery, 1800-2000*. Ashgate. Aldershot, pp. 115-134.
- Porter, R.** 1981. "Review of The temperature of History. Phases of Science and Culture in the Nineteenth Century", *Isis*, 72, pp. 520-521.
- Secchi, A.** 1869. *L'Unité des Forces Physiques. Essai de Philosophie Naturelle*. F. Savy, Libraire-Éditeur. Paris.
- Serrano F, E.** 1873. "El progreso de la materia", *Revista de la Universidad de Madrid*, 2, pp. 69-98.
- Seres, M.** 1994. *El nacimiento de la física en el texto de Lucrecio*. Pre-Textos. Valencia.
- Siegel, D. M.** 1981. "Thomson, Maxwell, and the universal ether in Victorian physics", en G. N. Cantor; J. S. Hodge. (eds.), *Conceptions of Ether. Studies in the History of Ether Theories 1740-1900*. Cambridge University Press. Cambridge, pp. 239-268.
- Silliman, R. H.** 1974. "Fresnel and the Emergence of Physics as a Discipline", *Historical Studies in the Physical Sciences*, 4, pp. 137-162.
- Smith, C. & Wise, N.** 1989. *Energy and Empire. A biographical study of Lord Kelvin*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Smith, C.** 1976. "Natural Philosophy and Thermodynamics: William Thomson and 'the Dynamical Theory of Heat'", *BJHS*, 9, pp. 293-319.
- . 1990. "Energy", en R. C. Olby; G. N. Cantor. (eds.), *Companion to the History of Modern Science*. Routledge. London, pp. 326-341.
- . 1998. *The Science of Energy. A Cultural History of Energy Physics in Victorian Britain*. The University of Chicago Press. Chicago.
- . 2003. "Force, Energy, and Thermodynamics", en Mary Jo Nye. (ed.), *The Cambridge History of Science. Volume 5. The*

Modern Physical and Mathematical Sciences. Cambridge University Press. Cambridge, pp. 289-310.

**Stewart, B., Tait, P. G.** 1875. *The Unseen Universe or Physical Speculations on a Future State*. Macmillan. London.

**Thomson, W.** 1852. "On a Universal Tendency in Nature to the Dissipation of Mechanical Energy", *Philosophical Magazine*, 4, pp. 304-306.

**Turner, F. M.** 1978. "The Victorian Conflict between Science and Religion: A Professional Dimension", *Isis*, 69, pp. 356-376.

———. 1981, "John Tyndall and Victorian Scientific Naturalism" en W. H Brock; et al. (eds.), *John Tyndall. Essays on a Natural Philosopher*. Royal Dublin Society. Dublin, pp. 169-180.

**Tyndall, J.** 1863. *Heat Considered as a Mode of Motion*. Longmans, Green & Co. London.

———. 1885. *El calor. Modo de movimiento*. El Progreso Científico. Barcelona.

**Weinberg, S.** 2003, *El sueño de una teoría final. La búsqueda de las leyes fundamentales de la naturaleza*. Crítica. Barcelona.

**Wise, N.** 1979. "William Thomson's Mathematical Route to Energy Conservation: A case Study of the Role of Mathematics in Concept Formation", *Historical Studies in the Physical Sciences*, 10, pp. 49-83.

———. 1981. "German concepts of force, energy, and the electromagnetic ether: 1845-1880", en G. N. Cantor; J. S. Hodge. (eds.), *Conceptions of ether. Studies in the History of ether theories 1740-1900*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 269-307.

Recibido: mayo 28 de 2009.

Aceptado para su publicación: diciembre 18 de 2009.