

Avances y avalanchas del siglo XIX.

La termodinámica: ciencia del calor y técnica del movimiento

Pedro Costa, *Ingeniero Técnico de Telecomunicación, Profesor de la EUITT de Madrid*

El siglo XIX asistirá a la progresiva puesta en práctica de los hallazgos de la ciencia y los experimentos, con dos extensos grupos de aplicaciones: el de la electricidad y el del calor. Y al mismo tiempo tienen lugar dos grandes síntesis científicas: primero la del calor y la energía, que darán lugar a la ciencia de la termodinámica, y después la de la electricidad, el magnetismo y la luz, que hallarán explicación conjunta con la teoría electromagnética.

Ambas novedades iniciarán la decadencia de la teoría newtoniana, de interpretación mecánica del universo y la naturaleza, ya que se encontrará con que no puede explicarlo todo. Habrá que esperar, no obstante, a que la década de 1880 imprima los cambios que serán ya irreversibles en la física, una vez que la etapa clásica alcance el más alto grado de positivismo, es decir, de elevación de lo comprobable a la máxima categoría del conocimiento y, además, de la generalización de la interpretación mecánica de la realidad (incluso la biológica).

INVESTIGADORES DEL CALOR

En los inicios modernos de los grandes interrogantes sobre el calor y sus circunstancias aparece el conde Rumford (1753-1814), un americano-alemán un tanto excéntrico que, pese a que la teoría generalmente aceptada sobre el calor par-



El alemán Clausius.

tía de la existencia del *calórico* (“fluido material imponderable e indestructible”)¹, pensó que el calor era una forma de movimiento, según veía en sus trabajos de fabricación y horadación de cañones. Humphry Davy y Thomas Young, ingleses, persistieron en la teoría mecánica con variaciones, proponiendo el segundo una interpretación ondulatoria: el calor sería el resultado de una vibración de los componentes de los cuerpos.

Una vez más la evolución de la física muestra la concepción dual de los ambientes británicos y franceses sobre un mismo fenómeno: mientras los ingenieros británicos se vuelcan en la perfección de la máquina de vapor y en la ampliación de su potencia y posibilidades (con el ejemplo más completo de Watt), los ingenieros franceses, procedentes de la *Polytechnique* (o enseñantes en ella) in-

sisten en penetrar en el conocimiento del fenómeno físico y en dar forma abstracta a sus observaciones. Este es el caso de Jean Baptiste Fourier y de Sadi Carnot: el primero elaboró una *Teoría analítica del calor* (1822), que analizaba la conducción del calor a través de sólidos y para la que creó sus famosas series matemáticas; el segundo fue más lejos, acometiendo en sus *Reflexiones sobre la fuerza motriz del fuego* (1824) las relaciones entre calor y movimiento. El jovencísimo Carnot (1796-1832) determinó, como principio general de las máquinas de calor la necesidad de dos focos térmicos, uno caliente y otro frío, y en su explicación recurría al símil de la rueda hidráulica; joven y desconocido, su temprana muerte hizo que sus manuscritos permanecieran ocultos hasta nada menos que 1878, siendo el ingeniero Clapeyron quien los recuperó y publicó.

Las aportaciones alemanas a la teoría del calor partieron de su relación con la combustión y, más concretamente, con los procesos biológicos humanos. Así, Robert Mayer, que era médico, trasladó sus observaciones sobre los cambios fisiológicos en los marinos en los trópicos, para relacionar el movimiento muscular con la energía química de la comida, siendo intercambiables y convertibles el calor, la energía mecánica y la energía química; y así calculó la cantidad de calor equivalente a una cantidad dada de energía mecánica. Desde la misma perspectiva biológica, otro ale-



El Cristal Palace.

mán, Hermann Helmholtz (1821-94), confirmó que la capacidad mecánica de los seres vivos proviene del alimento que ingieren, y elevó a principio general la equivalencia entre todas las formas de energía, cuyo total se mantiene invariable (1847)².

Un papel excepcional en los avances empíricos sobre el calor le corresponde al inglés James Joule (1818-89), en realidad un científico aficionado cuyo empeño era medir y cuantificar los fenómenos físicos. Se inició trabajando en la producción térmica de una corriente eléctrica, estableciendo la famosa ley de Joule (1840) y confirmando el principio de la conservación de la energía; pero también midió exactamente el equivalente mecánico del calor: el trabajo necesario para elevar la temperatura de un volumen de agua. La *Royal Society* re-

chazó la publicación de los dos artículos en los que explicaba estos experimentos (cosa que achacó a la rivalidad entre los *gentlemen* de la ciencia londinense y los industriales empiristas de Manchester (donde él ejercía de cervecero); pero en la reunión de 1847 de la *British Association* William Thomson (1824-1907, el futuro Lord Kelvin) se fijó en la trascendencia de estos trabajos y en primer lugar destacó la diferencia entre estos trabajos y el de los ingenieros franceses: Joule demostraba la transformación entre movimiento y calor, así como su inversa, lo que podía producir trabajo, y en Francia se seguía insistiendo en que el trabajo sólo dependía de la diferencia térmica entre dos focos, siguiendo la estela de Carnot.

Kelvin creó la escala absoluta de temperatura (1854) demostrando que ésta se-

ría la correspondiente a los cambios de temperatura en una máquina de calor perfecta, es decir, funcionando siempre con igual eficiencia. En 1849 empleó por primera vez el término *termodinámica* para denominar a la ciencia de las relaciones calor-trabajo y, paralelamente con el alemán Clausius (1822-88), él en Glasgow y éste en Berlín, formularon el principio general de la intercambiabilidad y equivalencia de la energía (el llamado Segundo principio, o teorema, de la Termodinámica), el primero en 1850 y un año después el segundo; ambos reconocieron haber seguido los trabajos de Carnot, Mayer y Joule. Clausius (profesor de física en Zurich y Bonn), por cierto, observó una magnitud que permanecía constante en un ciclo termodinámico en cualquier máquina de calor, que llamó *entropía* (1865) y la evaluó como el cociente entre



la cantidad de calor que se cedía en esas transformaciones y la temperatura del foco refrigerador (Q/T): en definitiva, la cantidad de energía que ya no va a poder ser transformada en otras formas de energía. Esa *entropía*, por el contrario a los procesos mecánico-energéticos, tendía a aumentar en los procesos naturales espontáneos, es decir, que podía establecerse que “la entropía del mundo tiende a un máximo”, lo que podría considerarse como una expresión muy indicativa del segundo principio de la Termodinámica; el primero, entonces, sería: “la energía del mundo es constante”.

A partir de Clausius recobra fuerza la teoría molecular de los gases y la interpretación de la energía calórica como la energía cinética de las moléculas en movimiento, y James Maxwell (1831-79, otro de los portentosos científicos del siglo) demostró que ese entrecocar aleatorio atribuiría una repartición irregular de calor entre esas moléculas dando lugar a fenómenos más o menos curiosos o inexplicables (a esto se le llamó “demonio de Maxwell”). Y teniendo en cuenta este hecho Boltzmann relacionó después (1877) la entropía de un gas con la distribución probabilística de la energía en esas moléculas (que es otra de las aproximaciones conceptuales de la entropía).

TERMODINÁMICA TRASCENDENTE: EL PASO DEL TIEMPO Y EL UNIVERSO-ENERGÍA

Los cambios sustanciales en la física clásica se inician en el campo maravilloso de la energía, que desvela dos líneas abiertas de reflexión e investigación. La primera está directamente relacionada con la degradación entrópica, que naturalmente ha de atribuirse a la fuente principal de energía en nuestro planeta, es decir, al sol; el sol y su radiación energética tienden a un “apagamiento” y, en consecuencia, a su extinción inevitable con el paso del tiempo (aun siendo lento e... infinito). Las medidas que se hicieron de la tasa de enfriamiento de la tierra –Kelvin fue uno de los que acometieron esta tarea– arrojaba una información nueva sobre, concretamente, la edad del planeta Tierra; y se estimó que esta edad era de algunos decenas de millones de años. Eran momentos, sin embargo, en que los geólogos iban definiendo su ciencia y ampliando el conocimiento de la formación de la tierra, y se tuvieron que corregir los cálculos elevándolos a varios centenares de años³; el descubrimiento de la radiactividad a finales del siglo permitió

evaluar esa duración con más precisión, dando la razón a los geólogos.

El segundo gran ámbito de consideración afectaba a la propia filosofía de la ciencia, ya que la termodinámica se revelaba como una ciencia “no material”, es decir, que los procesos calórico-mecánicos no presuponían una naturaleza particular de la materia. En esta línea, Wilhelm Ostwald (1853-1932), profesor en Leipzig, sugirió que los fenómenos de la naturaleza eran simplemente manifestaciones energéticas en todas sus variaciones, iniciando así la que fue llamada escuela *Energetik*. Ostwald opinaba que la totalidad de la naturaleza aparece como una serie de energías espacial y temporalmente cambiantes, percibiéndolas en la forma y medida en que inciden en nuestro cuerpo, y especialmente sobre los órganos de los sentidos. Mayer se unió a esta actitud crítica aludiendo a que el equivalente mecánico del calor era simplemente un número que relacionaba fenómenos pero sin nada que ver con la teoría del calor ni con ninguna otra.

A esto se añadió la crítica de Ernst Mach (1838-1916), científico austriaco que fue primero profesor de matemáticas en Graz y luego de física en Praga y de filosofía en Viena (y otro de los espíritus universales de la época, como Helmholtz y algunos más), que condenó los excesos en física por emplear modelos mecánicos teóricos para la interpretación de los fenómenos naturales. En la termodinámica, señalaba, no hacen falta modelos interpretativos ya que los fenómenos en presencia se observaban de forma directa; y por eso defendía que era la termodinámica, y no la mecánica, la que debería ser considerada el prototipo de todas las ciencias, punto de vista que se ha llamado de la “física fenomenológica”. (Mach se atrevió a contradecir a Newton, calificando la idea de que espacio y tiempo son absolutos como “resabios antropomórficos superados”. Einstein retomarí en parte sus ideas para la teoría de la relatividad, y reformularía lo que llamó Principio de Mach: “La masa inercial no es una nota intrínseca de un móvil sino una medida de su acoplamiento con el resto del universo”).

Pero Mach nos es importante también por sus discípulos, de entre los que descuellan el químico Ostwald (que logró el Nobel de Química en 1909 por sus trabajos en catálisis) y el filósofo Wittgenstein.

Y son importantes dentro de un amplio conjunto de científicos que en las últimas décadas del siglo XIX y primeras del XX serán parte de toda una transformación –silenciosa, discreta– que va revisando los conceptos y las prácticas científicas, muy especialmente en relación con la conservación de los recursos y ecosistemas, así como la actividad agraria. Y todo se debe a la percepción de esa “maldición degradante” de la entropía omnipresente, que a modo de hecho físico radical pesa sobre todas las cambios energético-calóricos, llevando de paso a la revisión a fondo de la teoría económica.

En esas décadas una prodigiosa generación de físicos entienden de diferente manera estas nuevas coordenadas de la interpretación del universo, pero reconocen generalmente que hay que basar en los flujos energéticos la razón de la naturaleza, de la vida y, por supuesto, de las actividades humanas. Ostwald es el primero que nos interesa porque recibe y transmite, como discípulo, algunas de las ideas de Mach sobre la trascendencia termodinámica, poniendo en relación la evolución histórico-cultural-económica con la disponibilidad y la eficiencia en la utilización de la energía; Ostwald pertenecía a la Liga Monista junto con Häckel, el científico que acuñó el término *ecología* (1866), figurando también entre los creadores de la *energética social* con Frederick Soddy (también Nobel de Química, en 1918), y siendo por tanto parte del grupo de constructores de lo que cien años después se llamaría *economía ecológica* (de radical sentido termodinámico, es decir, entrópico).

Pero esta “mirada interior” que ciertos científicos (no sólo físicos o químicos, también agrónomos, economistas, fisiólogos o filósofos) dirigen hacia los fenómenos termodinámicos venía escrutando el mundo combinado de lo natural y lo económico desde hacía años. Así, el famoso economista Stanley Jevons no sólo planteó en su *The coal question* (1865) que el poder y el futuro de Gran Bretaña dependían del calor sino que, sobre todo, advirtió que, consumiéndolo a ritmo creciente, lo que se hacía era dilapidar un capital natural irrecuperable, sin tener en cuenta ni el futuro ni las generaciones venideras; y se empeñó en desarrollar su teoría económica como una “mecánica del interés propio”



Lord Kelvin.

Y en la década de 1880 se produjeron otras notables aportaciones a esta creciente “perplejidad termodinámica” ante la sociedad productiva, a cargo de diversos e importantes científicos. El primero en citarse suele ser Serhii Podolinsky (1850-91), un emigrado político ucraniano que a partir de su estudio de la agricultura como receptora y transformadora de la radiación solar, estimó (1880) que frente a la entropía y su mensaje implacable “disipador”, el trabajo humano, el trabajo animal y la producción agrícola podían aumentar el balance energético sobre la tierra (con esta necesaria matización: siempre que no haya aportación mecánico-energética ni insumos químicos).

El propio Clausius publicó (1885) un análisis sobre las reservas energéticas de la naturaleza y destacó la necesidad de que “de cada cosa se debe consumir cuanto se pueda producir en el mismo periodo”, siguiendo las advertencias de Jevons y sometiéndose a las exigencias de los flujos



Ostwald.

de energía, que resultan engañosos cuando proceden de recursos fósiles o no renovables. Boltzmann, por su parte, en un famoso discurso (1886), relacionó la teoría de la selección natural con la disponibilidad de energía, aportando luces sobre la teoría darvinista. Era evidente que la energía, con sus promesas y miserias, se colocaba en el centro de la ciencia, de la economía y, por supuesto, de la política.

DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA AL AUTOMÓVIL

Así como la máquina de vapor se adelantó en mucho a las formulaciones teóricas termodinámicas, el motor de combustión interna puede considerarse, en general, como un producto de los avances derivados de un mejor conocimiento teórico-empírico de las relaciones calor-movimiento. Anotemos, antes de nada que, aunque la máquina de vapor se adelantó en un siglo al motor de combustión interna, éste había tenido sus precedentes en las experiencias de Huyghens y su ayudante Papin en el siglo XVII utilizando la pólvora como material de combustión; y observemos que, una vez más, la idea de esta máquina se adelantó en mucho a la disponibilidad de los medios necesarios para ponerla en práctica. Y por supuesto que el gran salto en la expansión de este tipo de motor se produjo cuando se encontró, por fin, un combustible manejable, fácilmente trasladable desde sus fuentes a las aplicaciones y cuya relación poder calorífico/peso fuese suficientemente alta: esa fue la inmensa ventaja del petróleo con respecto al carbón y la causa de su sustitución (Téngase en cuenta que el petróleo inicio su era en 1859, cuando surgió del famoso pozo de Titusville, Pensilvania, de la empresa de Rockefeller.)

En la fecha-hito de 1851 (Exposición Universal de Londres) sólo pudo verse un único modelo de motor de gas, desarrollado por Drake en los Estados Unidos pocos años antes. Pero todavía estaba lejos el momento en que los nuevos motores desbancasen a la máquina de vapor, clave y estructura de la industria y la economía del siglo; hubo que esperar a 1876⁴ para que el alemán Nikolaus Otto

construyese su modelo de motor de combustión horizontal, que se había generalizado hacia 1890 utilizando un ciclo de cuatro tiempos conocido por el nombre de su creador.

(Llama la atención, por cierto, el “desvanecimiento” de la inventiva británica en las últimas décadas del siglo, considerando muchos historiadores de la técnica que esa fecha de 1851, con su Gran Exposición, marca el final de su predominio y, al tiempo, el despegue y auge del poder tecnológico de sus dos grandes rivales: Estados Unidos y Alemania.)

En las décadas de 1870 y 80 hubo avances importantes en motores que empleaban aceites pesados a manos de ingenieros norteamericanos, que sustituyeron el encendido de la mezcla mediante una chispa eléctrica por la aportación de aire comprimido desde un cilindro, que provocaba la explosión. Pero los más notables avances científicos fueron obra de Rudolf Diesel, cuyo motor fue patentado en Inglaterra y producido comercialmente con éxito en 1897, siguiendo los principios de su obra *Teoría y construcción de motores térmicos racionales* (1893). El cuidadoso diseño de Diesel nunca llegó a la perfección pretendida, pero obtenía un alto grado de compresión, lo que le daba la mayor eficiencia entre los modelos existentes.

Los motores de gasolina, mientras tanto, presentaban modelos muy revolucionados y cambios en el sistema de inyección e ignición del combustible. Y en este particular, y dejando de lado una vez más los precedentes constatables (como los motores del austriaco Markus, quince años antes, el mérito principal ha de atribuirse al ingeniero alemán Gottlieb Daimler, cuyo primer motor de gasolina fue patentado en 1885 y que utilizaba un ciclo Otto. Al mismo tiempo, otro alemán, Karl Benz, construía motores pesados de gasolina, de un solo cilindro, especialmente destinados a la automoción: se fabricaron, en Mannheim, entre 1893-1901, moviendo un vehículo de cuatro ruedas. Ambas firmas, Daimler y Benz, se fusionaron en 1926, pasando a llamarse Mercedes Benz.

Los motores de gasolina de las últimas décadas del siglo serían, todos, de uno o dos cilindros y se refrigeraban por aire hasta la adición de un refrigerador por agua poco antes de que acabara el si-



Sadi Carnot.

glo: así fabricó Ford su primer automóvil en 1896 (aunque la famosa Ford Motor Company se crearía, en Detroit, en 1903). Y es verdad que en el cambio de siglo el automóvil, sea europeo, sea norteamericano, ya está configurado y constituido definitivamente, siendo mínimas y secundarias las diferencias habidas con los modelos de cien años después. Aunque triunfarían pronto los motores de combustible líquido para automóviles, no debe olvidarse que durante varias décadas circularon en Estados Unidos automóviles con máquina de vapor⁵, siendo los de mayor éxito los fabricados por los hermanos Stanley a partir de 1906, con caldera de tubos y máquina de dos cilindros, pudiendo alcanzar los 120 kmh; hasta 1927 se fabricaron nada menos que 60.000 unidades, pudiéndose ver algunos incluso durante la Segunda Guerra Mundial. ●



James Joule.

BIBLIOGRAFÍA

Derry, T. K. y Williams, T. I. (1990): *Historia de la tecnología. Desde 1750 hasta 1900 (II)*, Siglo XXI, Madrid.

Martínez Alier, J. y Schlüpmann, K. (1991): *La ecología y la economía*, FCE, México.

Mason, S. E. (1986): *Historia de las ciencias. 4. La ciencia en el siglo XIX*, Alianza, Madrid.

NOTAS

- ¹ Lavoisier era uno de los más prestigiosos sostenedores de la teoría del *calórico* como sustancia indestructible. Pero ya en el siglo XIX se va abriendo paso la idea de que el calor puede crearse y eliminarse. Será necesario todo el siglo para que este *calórico* (y también el *flogisto* y el *éter*) desaparezcan de la ciencia como elementos instrumentales e interpretativos.
- ² Helmholtz, médico y físico, pasa por ser uno de los últimos espíritus universales, enseñando y trabajando en una amplísimo temario físico-fisiológico.
- ³ Téngase en cuenta que hasta iniciarse el siglo XIX la edad de la Tierra se evaluaba en unos pocos miles de años (el obispo irlandés Usher, en 1611 se atrevió a datar su creación ¡a las 9 de la mañana del 26 de octubre del año 4004 a. C!). Fueron los naturalistas Werner, Hutton y sobre todo Lyell quienes en pleno siglo XIX demostraron que los procesos geológicos de formación terrestre obligaban a contar en millones de años.
- ⁴ Es interesante comprobar que 1876 es también el año del teléfono de Bell y Gray, considerado el primero de impacto comercial, y también de los avances decisivos en materia de iluminación eléctrica (Edison).
- ⁵ De hecho, se atribuye al francés Cugnot la creación del primer vehículo automóvil (1769), de tres ruedas y accionado por una máquina de vapor.

eres lo que quieres

“quiero ampliar mi
formación y mejorar
mi currículum”

Programas profesionales
y universitarios
ONLINE Y PRESENCIALES



PUEDES. En La Salle puedes estudiar el **Máster Universitario en Ingeniería de Redes y Telecomunicaciones** (de forma online y presencial), y el **Curso de Complementos** de formación para titulados en Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones (de forma online) para obtener, en un año, el título de Grado.

Además te ofrecemos **35 programas profesionales de máster y postgrado** reconocidos internacionalmente y que integran, de forma práctica, los conocimientos de gestión y de tecnología en el mundo de la empresa. **TODO PARA QUE LLEGUES A SER LO QUE QUIERAS.**

laSalle

Universidad Ramon Llull

932 902 419

www.BESLaSalle.net

info@BESLaSalle.net

INGENIERÍA · ARQUITECTURA · BUSINESS