

Termodinámica y contabilidad de la energía

Juan Seguro

Pregunta central

¿Cómo crearon los trabajos del siglo XIX sobre calor y máquinas una ciencia general de la energía, la conversión, la entropía y los límites de lo que pueden realizar los procesos físicos?

Contexto histórico y evolutivo

Las máquinas de vapor eran comercialmente importantes antes de que existiera una teoría satisfactoria del calor y el trabajo. Los ingenieros podían mejorarlas empíricamente mientras los filósofos naturales debatían teorías calóricas y explicaciones mecánicas del calor. La termodinámica surgió cuando análisis de máquinas, calorimetría, mecánica e idealización matemática se integraron en un marco común de contabilidad.

¿Qué podían saber las comunidades antes de esta transición?

Artesanos e ingenieros podían comparar consumo de combustible, presión, expansión y rendimiento de máquinas. Los físicos podían medir temperaturas y capacidades caloríficas. Faltaba una magnitud general conservada que conectara trabajo mecánico, calor y otros cambios físicos, junto con una explicación de principio de por qué algunas conversiones poseen direccionalidad inevitable y pérdida de trabajo útil.

¿Qué cambió?

Carnot separó los límites ideales de las máquinas concretas

En 1824, Sadi Carnot analizó las máquinas térmicas mediante un ciclo reversible ideal. Aunque trabajaba dentro de un marco calórico, su razonamiento introdujo una distinción poderosa entre detalles contingentes de ingeniería y relaciones límite impuestas por diferencias de temperatura.

Joule y otros conectaron calor y trabajo

El argumento de Mayer de 1842, los experimentos de Joule durante la década de 1840 y la síntesis de Helmholtz de 1847 apoyaron una equivalencia cuantitativa entre trabajo mecánico y calor y un principio más amplio de conservación. La conservación de la energía se convirtió en un principio de contabilidad transversal entre dominios, no en una propiedad de una máquina específica.

Clausius y Kelvin introdujeron direccionalidad

Rudolf Clausius reformuló en 1850 las ideas de Carnot sobre la base de la equivalencia calor-trabajo y en 1865 introdujo el término entropía. William Thomson propuso una escala absoluta de temperatura en 1848 y formuló una versión del segundo principio en 1851. La termodinámica combinó así conservación con asimetría: la energía total se conserva, pero no toda transformación de energía está igualmente disponible para producir trabajo.

¿Por qué pudo surgir esta capacidad?

Las máquinas industriales crearon presión práctica para comprender la eficiencia, mientras que la calorimetría de precisión, la mecánica y la física matemática proporcionaron herramientas cuantitativas. La transición necesitó tanto conocimiento de taller como idealización abstracta. Ningún experimento ni teórico produjo por sí solo la termodinámica en forma terminada.

¿Qué formas posteriores de conocimiento hizo posibles?

La termodinámica se volvió fundamental para la química, los equilibrios de fase, la mecánica estadística, las máquinas, la refrigeración, la ciencia atmosférica y, posteriormente, la teoría de la información. La contabilidad energética proporcionó también un lenguaje común a procesos físicos antes separados.

Nuevos límites y riesgos

Las variables termodinámicas son descripciones de grano grueso. Tratar relaciones de equilibrio como instantáneamente universales puede ocultar cinética, fluctuaciones y

gradientes espaciales. El dominio industrial de las máquinas térmicas intensificó además la extracción y combustión de combustibles fósiles, generando consecuencias ambientales que la eficiencia termodinámica por sí sola no evalúa.

¿Qué cambió en la arquitectura del conocimiento?

El cambio físico quedó sometido a **conservación más restricción**. Los investigadores podían seguir la energía a través de transformaciones al mismo tiempo que distinguían procesos posibles de idealizaciones imposibles y límites reversibles de comportamiento irreversible real.

Pérdida, exclusión e incertidumbre

Los relatos heroicos suelen separar demasiado la ingeniería de la teoría. Constructores de máquinas, fabricantes de instrumentos y práctica industrial aportaron conocimientos esenciales antes de la termodinámica formal. Las etiquetas históricas de primer y segundo «principio» se estabilizaron después de las contribuciones de Carnot, Clapeyron, Joule, Mayer, Helmholtz, Clausius, Kelvin y otros. Sus papeles no deben colapsarse en un único momento de descubrimiento.

Mapa de dependencias

- DIRECTO ← PIO-057 Máquinas de vapor: cuando la tecnología precedió a la teoría
- INDIRECTO ← PIO-053 Newton, la mecánica y la gravitación universal
- INDIRECTO ← PIO-054 Cálculo, límites e infinitesimales
- INDIRECTO ← PIO-059 Lavoisier y la transformación química cuantitativa
- INDIRECTO → PIO-083 Física nuclear, energía nuclear y conocimiento de doble uso
- INDIRECTO → PIO-091 Ciencia del clima y conocimiento de un planeta acoplado

Referencias

1. Carnot, S. *Réflexions sur la puissance motrice du feu*. Paris (1824).
2. Joule, J. P. «On the Mechanical Equivalent of Heat.» *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 140, 61-82 (1850). DOI: 10.1098/rstl.1850.0004.
3. Clausius, R. «On the moving force of heat, and the laws regarding the nature of heat itself which are deducible therefrom.» *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, Series 4, 2, 1-21 and 102-119 (1851). DOI: 10.1080/14786445108646819; 10.1080/14786445108646840.
4. Girolami, G. S. «A Brief History of Thermodynamics, As Illustrated by Books and People.» *Journal of Chemical & Engineering Data* 65(2), 298-311 (2020). DOI: 10.1021/acs.jced.9b00515.