

LOS ORIGENES DE LA TERMODINAMICA Y SU PARALELISMO ACTUAL

J.A. TUREGANO, A. VALERO

Dpto. de Termodinámica y Físicoquímica

Escuela Técnica Superior de Ing. Indus.

Universidad de Zaragoza

El siglo XIX no es sólo el siglo de Darwin, es también el siglo del nacimiento y consolidación de la Termodinámica como ciencia. Superado definitivamente el concepto de calórico que todavía limitó los análisis de Carnot, acaba definiéndose el primer principio de la Termodinámica, el de la conservación de la energía. Los trabajos de Mayer y Joule a mediados del siglo y numerosos experimentos de otros científicos que relacionan el calor y el trabajo no sólo con las transformaciones de la energía cinética sino de otras formas de energía, llevan a la determinación precisa del equivalente mecánico del calor, para el que Rowland en 1880, repitiendo los trabajos de Joule con más precisión, da el valor de 4.184 julios como equivalente de la caloría, con un error inferior a 10^{-3} j.

Simultáneamente Clausius (1850) y William Thomson (1854) aportan sus planteamientos de lo que se denominó segundo principio de Termodinámica o principio de Carnot, con la introducción de los conceptos de temperatura termodinámica y de entropía, concepto este último que tan atractivo resulta —quizá por lo abstracto del mismo— tanto para científicos serios¹, como para charlatanes y demagogos del Cosmos.

Mientras que el primer principio equivale al rechazo del móvil perpetuo de 1ª. especie, es decir, del que podría funcionar permanentemente sin recibir aporte energético exterior, el segundo principio va mucho más lejos confirmando la imposibilidad del de 2ª. especie: No es posible el funcionamiento cíclico de una máquina que transforma el calor en trabajo como único proceso existente; debe aparecer una cesión adicional de calor a sistemas más fríos.

Esta es la visión que captó Carnot y aunque su trabajo ha sido conocido indirectamente a partir de los análisis que de él hicieron otros científicos (Clapeyron, Julius, Clausius, Thomson, fundamentalmente) no cabe duda de que su obra principal *Reflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* es uno de los estímulos que van a impulsar el desarrollo de aspectos claves de la Termodinámica a lo largo del resto del siglo XIX: Concreción de los dos principios fundamentales ya citados, establecimiento de la escala absoluta de temperaturas, desarrollo de las funciones “entropía, energía libre, entalpía y entalpía libre y en su vertiente aplicada desarrollo del motor de explosión y de las máquinas frigoríficas”.

Sin embargo como señala S.S. Wilson²: “se puso excesivo énfasis en el papel del ciclo de Carnot como ciclo ideal para máquinas térmicas con menoscabo del resto de la obra que está llena de consideraciones prácticas bien fundamentadas... Si sus contemporáneos franceses hubiese leído y seguido estas recomendaciones, la revolución industrial en Francia se habría acelerado”.

Las consecuencias de esto son complejas y apuntan en varias direcciones. De un lado se desarrolla una nueva teoría científica (La Energética como la llama Rankine, aunque al final toma el poco preciso nombre de Termodinámica) y esta teoría unida al avance en otras ramas (Mecánica, Óptica, Electromagnetismo, Química...) consolida una nueva ingeniería que abandona el empirismo anterior, produciendo logros técnicos como la turbina, motor de combustión interna, la máquina herramienta... en los que se apoyan las grandes realizaciones del siglo siguiente: Producción de energía eléctrica, transporte mecánico por mar, vehículo a motor, desarrollo de la aviación, etc.

De otro lado, la consolidación de los dos principios básicos, conservación de la energía, muy atractivo por los aspectos filosófico-científicos que de esta idea se derivan, pero más complejo de cuantificar, lleva a una evolución de la teoría termodinámica que “pone en segundo término el potencial de aplicación técnica de este nuevo concepto, utilizando un criterio cuantitativo de calidad de los procesos de transformación energética basado en el primer principio”, $\eta = W_{\text{neto}}/Q_{\text{absorbido}}$, y otro cualitativo, la eliminación —en lo posible— de las irreversibilidades basado en el segundo principio.

Esta situación se refuerza al aparecer un combustible, el petróleo, que eliminará la necesidad de optimizar al máximo los procesos de transformación energética. Dicha situación comienza a cambiar en la actualidad, potenciado el hecho por la nueva crisis energética.

Esta crisis energética de hoy, guarda un cierto paralelismo con la crisis energética provocada por la demanda de la Revolución Industrial³, y de la que surgió la Termodinámica como ciencia.

Pues bien, pensamos que de una manera paralela a la aparición de la Termodinámica, estamos ahora en los comienzos de una nueva Ciencia Aplicada: La Termoeconomía, nombre propuesto por Tribus y Evans a la ciencia que relaciona científicamente y racionalmente la Economía con la Conservación y Optimización energética. Es decir, la disciplina que pone las bases de conexión entre la Termodinámica y la Economía.

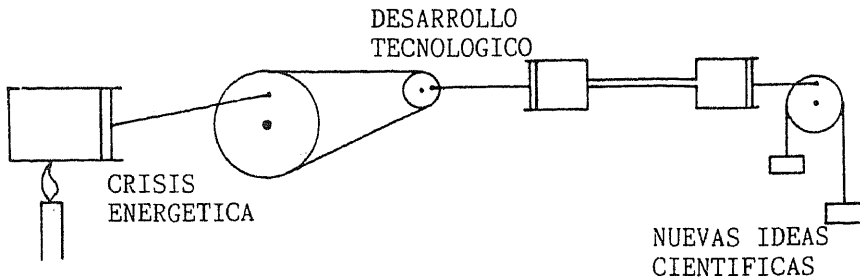
¿A qué se debe el desarrollo de esta nueva ciencia en los últimos años, y por qué no se ha desarrollado antes?

La razón de ello resulta muy compleja y no cabe duda que reducir la Historia a esquemas en exceso lineales es ignorar muchas de las causas que se complementan para producir un determinado efecto, por ello no debe entenderse en lo que sigue la defensa de una única razón como desencadenante de un proceso dado.

Por ello cuando analizamos un esquema como el presentado en el Cuadro 1, en el que se plantea que la necesidad de «desarrollo» de la sociedad, provoca un «aumento de la demanda energética» que tarde o temprano desemboca en una «crisis energética» a la que la sociedad en conjunto reacciona con un esfuerzo en línea con un nuevo «desarrollo tecnológico» (que no tiene por qué ser siempre posible o alcanzable), en principio desorganizado pero que finalmente sufre una «racionalización científica» que contribuye a mejorarlo, no pretendemos reducir el proceso a una progresión perfectamente escalonada en el tiempo y menos aún restringir la interacción Ciencia y Técnica, que ha existido de forma continua y con fuerza creciente, sino que planteamos un modelo complejo de interacción con criterios simplificados, acción ésta frecuente en todo análisis no sólo sociológico sino científico.

Así, cuando decimos de la Ciencia que «evoluciona independientemente» de la Tecnología queremos resaltar la diferencia de objetivos en el avance de ambas vías sin negar sus evidentes interacciones. Del mismo modo, cuando afirmamos que interacciona, planteamos la hipótesis de que el impulso del desarrollo científico ha sido básicamente una exigencia tecnológica. Así, el factor que empuja a Carnot a escribir su obra es, sin duda, el deseo de mejorar el diseño y rendimiento de las máquinas térmicas⁴, a partir, precisamente, de los avances tecnológicos consecuencia de una necesidad social.

Pero insistimos, ese es el factor que prevalece. Ni está aislado, ni el fenómeno se puede alisar de muchas otras interacciones.



Este modelo que resulta evidente para la Termodinámica, como muestra el Cuadro 1, también se ajusta muy bien para la Termoeconomía. Esta Termoeconomía, descansa en parte en el concepto de Exergía, Disponibilidad o Energía Utilizable que no es más que la cantidad de Energía aprovechable en forma de trabajo que tiene un determinado sistema al enfrentarlo con el ambiente. Sin embargo el concepto de Exergía fue descubierto y redescubierto por físicos e ingenieros independientemente a finales del siglo pasado; se habla de Gouy (1889), Gibbs (1873), Tait (1868), Maxwell (1871) y Kelvin (1879). El concepto fue conocido y utilizado con toda seguridad por Stodola (1898, 1905) y Jouguet (1907) y ambos citan a Gouy. J.H. Keenan (1932) lo vuelve a utilizar (y refiere a Darrieus (1930) quien le augura por primera vez un efecto revolucionario sobre el razonamiento termodinámico). Baehr (1962) lo utiliza también y basa gran parte de su trabajo en las aportaciones de Z. Rant (1956) que fue quien propuso el nombre de exergía. De la misma manera Bosnjakovic (1935) abre la gran tradición de las escuelas del Este, que es donde ha sido desarrollado este concepto en mayor profundidad y aplicado a numerosos procesos técnicos.

Pues bien, de todo lo anterior resulta que un concepto simple, cuyos términos de razonamiento son similares a los de energía, no ha empezado a aplicarse —y a generar una nueva Ciencia— hasta que aparece la crisis Energética de 1973 en la que la necesidad del Ahorro de Energía y el freno al despilfarro de recursos se hace evidente. (Esto explica también el hecho de por qué en los países del Este este concepto se desarrolla mejor, y es porque conecta más con su tipo de sociedad, opuesta al consumo incontrolado y al despilfarro de recursos).

También se explica por qué los científicos no han prestado especial interés al concepto de exergía y ello es debido a que mientras la energía resultaba barata, el concepto y estudio del Ahorro de Energía no era tema de interés. Frente al concepto de exergía se le opone el de entropía, mucho más

PERIODO	FUENTE ENERGETICA PRINCIPAL (INDUSTRIA)	DEMANDA DE ENERGIA	SOCIEDAD	TECNOLOGIA	CIENCIA
Siglo XVI y parte del XVII	Hidráulica, maderera y carbón	Baja demanda Crecimiento lento	Demanda asimilable	Desarrollo empírico lento	Evoluciona independientemente
Fines del XVII y parte del XVIII	Carbón (predomina)	Crecimiento inusual	Crisis por costos	Avances técnicos importantes (Savery, Newcomen Watt)	Evoluciona independientemente
Fines del XVIII y 1ª mitad del XIX	Carbón (predomina)	Presión mantenida de la demanda	Problemas por volumen demanda	Idem. (Trevithick, Perkins, Stephenson)	Interacción con el problema (Carnot, 1er. y 2º principios, rendimiento máquinas) 1er. Principio
2ª Mitad del XIX e inicios del XX	Carbón y Petróleo	Reajuste oferta demanda	Situación resuelta	Desarrollo generado por los nuevos conocimientos científicos (turbina motor combustión)	Desarrollo de la Termodinámica como Ciencia.

2/3 siglo XX	Petróleo y Carbón	Demanda creciente	Asimilable: Combustible barato	Mejoras de tipo básico (precalentadores, intercambiadores)	Básicamente independiente
1965-1980	Petróleo (predomina)	Demanda fuertemente creciente	Crisis de precios y recursos	Avances profundos (nuevas energías, cogeneración, dispositivos ahorro energético)	Interacción con el problema (eficiencia 2º Principio exergía)
1980	Petróleo, Gas, Electricidad	Demanda en recesión	Situación en vías de solución	Nuevo desarrollo?	Termoeconomía : nueva ciencia?

Cuadro 1 : Paralelismo propuesto

Desarrollo → Aumento Demanda Energética → Crisis → Desarrollo Tecnológico → Elaboración Científica

básico y fascinante desde un punto de vista puramente intelectual pero mucho más complejo al ser aplicado industrialmente, además la entropía es una propiedad absoluta que no depende del medio exterior, mientras que la exergía ($Ex = H - H_0 - T_0(S - S_0)$) sí depende, por lo que resulta una función aparentemente menos cómoda de tratar.

Así pues, del análisis histórico del concepto de exergía se observa que a nivel científico ésta era perfectamente conocida pero no se le asignaba ningún valor importante, en cuanto que la sociedad no demandaba de la Ciencia y de la Tecnología la racionalización del Consumo Energético. Cuando aparece la Crisis Energética de 1973 es cuando se empieza a tener en consideración la Tecnología de Ahorro Energético y unos años después los científicos recuperan y desarrollan el concepto de exergía, llevándolo hacia la aparición de una nueva ciencia, la Termoeconomía o Ciencia del Ahorro de Energía que abre unas perspectivas nuevas en el control y mejora de los procesos industriales.

BIBLIOGRAFIA

1 SEARS, F.W.; Principles of Physics. Cambridge, Mass. Addison-Wesley, 1945. Escribete: No hay concepto en toda la Física más complejo que el de la entropía ni existe otro más fundamental.

2 WILSON, S.S.; Sadi Carnot. Investigación y Ciencia, 61, octubre 1981.

3 En el terreno de lo anecdótico puede señalarse que el paralelismo se extiende a hechos como que Watt participara, hace más de un siglo, en una sociedad que comercializaba sus motores cobrando en base al pienso para caballerías ahorrado en el primer año.

4 KLEIN, M.J.; Carnot's contribution to Thermodynamics. Physics Today, agosto 1974.