

La energía, el recurso maestro¹

La consideración de la energía como el recurso maestro ofrece un hilo conductor para explicar y comprender las relaciones entre economía y ecología, un paso necesario para desarrollar nuestra economía sobre un fundamento ecológicamente sólido. Por muy imaginativo que resulte ser el ser humano, nunca podrá inventar la forma de burlar las leyes de la termodinámica. La teoría convencional del crecimiento infinito, que proyecta alegremente de forma indefinida las mejoras de productividad derivadas de la innovación tecnológica, niega esta verdad fundamental. Nuestra capacidad para aumentar nuestro nivel de vida en una economía en estado estacionario estará limitada únicamente por nuestra inteligencia y nuestra imaginación, y por las leyes de la termodinámica.

Una mañana de primavera de 1890, el químico alemán Wilhelm Ostwald se despertó temprano en la habitación de su hotel en Berlín, preocupado por una conversación mantenida la noche anterior. Su visita a Berlín tenía por objeto debatir con otros físicos su trabajo para desarrollar una nueva base teórica para la química, que fuese consecuente con la primera y la segunda ley de la termodinámica. La primera ley sostiene que la materia y la energía no pueden ser creadas ni destruidas, sino tan solo transformadas. La segunda afirma que toda transformación disminuye la capacidad de la energía para realizar trabajo útil. Según la primera ley, la energía no desaparece, pero una parte se transforma en energía «restringida», que no puede ser utilizada. Rudolf Clausius había acuñado el término «entropía» en 1865 para designar esta energía degradada, lo que le permitió expresar de forma sucinta dicha ley: en todo sistema termodinámico cerrado, la energía se conserva pero tiende a aumentar la entropía.²

Enric Zencey es miembro del Gund Institute for Ecological Economics, Universidad de Vermont

Estas leyes estaban resultándole a Ostwald enormemente útiles para desarrollar una comprensión más rigurosa y profunda de las transformaciones

¹ Extracto del capítulo 7, del mismo título, publicado en *¿Es aún posible lograr la sostenibilidad? La situación del mundo 2013*, World Watch Institute, Fuhem Ecosocial/Icaria, Barcelona, 2013.

² Historia de Ostwald citada por R. J. Deltete, «Wilhelm Ostwald's Energetics 1: Origins and Motivations», *Foundations of Chemistry*, enero de 2007, pp. 33-35.

químicas, tarea por la que sería distinguido posteriormente con el Premio Nobel. Había llegado a la conclusión de que la ciencia que estudia la energía no constituye un mero campo de la física, sino su propio fundamento. Durante su estancia en Berlín comentó con los físicos que también esa disciplina requería de una «reorientación radical» para adecuarse a estos principios fundamentales. Dado que la materia es indestructible y que la energía se degrada, esta ha de ser la clave: «De ahora en adelante... toda la física deberá ser representada como una teoría de las energías».³

El grupo no le brindó una acogida nada cálida. Ostwald escribiría después que consideraron su idea «tan absurda, que se negaron a tomársela en serio», respondiendo con «insultos e intentos de ridiculizarla». Tras una noche casi sin dormir, se levantó temprano para pasear por unas calles aún oscuras, meditando sobre la mejor forma de proceder. El amanecer le sorprendió en el jardín zoológico, el *Tiergarten*, rodeado del renacer de la vida de una mañana de primavera. Y fue allí donde tuvo la inspiración que describiría más tarde en términos religiosos como su «Pentecostés personal», que sintió con una fuerza y claridad que jamás había experimentado. Comprendió que «todo es energía». Y si la energía no puede crearse ni tampoco reciclarse, el presupuesto energético del planeta y de la economía humana sobre el planeta ha de ser finito necesariamente.⁴

Energía y la transformación de la ciencia

A partir de esta visión, Ostwald desarrolló su doctrina energética, que debería revolucionar en su opinión todo el conocimiento humano: las ciencias naturales y de la tierra, evidentemente, pero también la historia, la economía, la sociología, la política e incluso la ética, la filosofía y la moral (para Ostwald las leyes de la termodinámica implicaban un nuevo imperativo categórico que obligaba a no dilapidar la energía).⁵

La termodinámica comenzó efectivamente a revolucionar numerosas disciplinas. La solución a tres de los problemas termodinámicos de la física newtoniana de entonces —el efecto fotoeléctrico, el movimiento browniano y la radiación emitida por un cuerpo negro— llevó a un joven funcionario de la oficina de patentes, Albert Einstein, a dismantlar los fundamentos mecanicistas de esta ciencia con su teoría general y especial de la relatividad. La reformulación de la biología en base a los principios de la termodinámica revolucionó esta ciencia en la década de 1920, cuando A. G. Ansely, Edgar Transeau, Max Kleiber y otros científicos empezaron a concebir los organismos como consumidores o fijadores de energía, y los sis-

³ *Ibid.*, p. 33.

⁴ *Ibid.*, p. 34.

⁵ C. Hakfoort, «Science Deified: Wilhelm Ostwald's Energeticist World-view and the History of Scientism», *Annals of Science*, vol. 49, núm. 6 (1992), pp. 525-44.

temas naturales como redes complejas de flujos y transformaciones energéticas, desarrollando así la ciencia moderna de la ecología. Alfred Lotka y Howard Odum ampliaron este enfoque, señalando la función que desempeña la acumulación de energía en la evolución: los individuos y las especies con mayor excedente energético pueden dedicar mayor cantidad de su energía vital a la reproducción, compitiendo ventajosamente con sus rivales.⁶

Es probable que la era del petróleo desaparezca tan repentinamente como llegó, pues en la infinitud de los tiempos geológicos nuestra era del petróleo es un instante solamente

A principios del siglo XIX el historiador americano Henry Adams, que había leído textos sobre energía de Ostwald y de otros autores, postuló una interpretación termodinámica de la historia, quizás como mera metáfora, quizás para manifestar su desacuerdo paródico con el progresismo científico de la época, o tal vez como modelo basado en las cifras de consumo de carbón, tema en el que se metió de lleno durante un período breve. A mediados de la década de 1950 un sociólogo americano, William Frederick Cottrell, asociaba el cambio social y económico a los experimentados en las fuentes de energía y las tecnologías que estas alimentan. Y el historiador Lewis Mumford retomaba en 1970 este tema en *El pentágono del poder*.⁷

El creciente interés por la historia ecológica y ambiental a finales del siglo XX propició una serie de prolongadas indagaciones centradas en la historia energética de la economía humana, como *Hijos del Sol: Historia del apetito energético insaciable de la humanidad* (*Children of the Sun: A History of Humanity's Unappeasable Appetite for Energy*) de Alfred Crosby, en 2006. Vista a través de la lente de la termodinámica, lo que se ha denominado como Revolución industrial sería más exactamente la Revolución de los hidrocarburos, un expolio de la luz solar almacenada único en la historia planetaria, para producir trabajo y crear riqueza en el presente. Es probable que la era del petróleo desaparezca tan repentinamente como llegó, pues en la infinitud de los tiempos geológicos nuestra era del petróleo es un instante solamente, una breve erupción de actividad frenética que ha generado un crecimiento exponencial en riqueza y en población humana —y en el impacto de la humanidad sobre los ecosistemas del planeta.⁸

⁶ Martin J. Klein, «Thermodynamics in Einstein's Thought», *Science*, 4 de agosto de 1967, pp. 509–16; Donald Worster, *Nature's Economy*, 2ª ed. (Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, 1994), pp. 301–06.

⁷ Henry Adams, «The Tendency of History», «A Letter to American Teachers of History», y «The Rule of Phase Applied to History», en Brooks Adams, ed., *The Degradation of the Democratic Dogma* (Nueva York: Macmillan, 1919); William Frederick Cottrell, *Energy and Society* (Nueva York: McGraw-Hill, 1955); Lewis Mumford, *The Myth of the Machine II: The Pentagon of Power* (Nueva York: Harcourt Brace Jovanovich, 1970).

⁸ Daniel C. Foltz, «Does Nature Have Historical Agency? World History, Environmental History, and How Historians Can Help Save the Planet», *The History Teacher*, noviembre de 2003, pp. 9–28; Alfred Crosby, *Children of the Sun: A History of Humanity's Unappeasable Appetite for Energy* (Nueva York: W. W. Norton & Company, 2006).

Economía: la revolución fallida

Entre las disciplinas que aspiran al estatus de ciencia exacta, la economía es la única que ha resultado relativamente poco afectada por el impulso transformador de la termodinámica. La mayor parte de esta disciplina sigue teniendo sus raíces en el mecanicismo newtoniano, que sostiene que toda acción tiene una reacción opuesta de la misma intensidad y que no existen flujos irreversibles. Esto se refleja con la mayor evidencia en el modelo de flujo circular de producción y consumo sobre el que se fundamentan los modelos económicos convencionales, que consideran la economía como un sistema cerrado de intercambios entre hogares (que suministran factores de producción y que compran bienes y servicios) y empresas (que utilizan los factores de producción para fabricar bienes y servicios para su venta a los hogares). En *El problema económico*, Lester Thurow y Robert Heilbroner, afirman que «el flujo de producción es circular, autorrenovador y autoalimentado» porque «la producción del sistema se vuelve a reincorporar como nuevos insumos». Esto es evidentemente un disparate. Un sistema capaz de incorporar como insumo lo que genera como producción constituye una máquina de movimiento continuo, violando la segunda ley de la termodinámica.⁹

En realidad, una economía –como cualquier ser vivo o cualquier máquina– absorbe de su entorno una baja entropía y genera una estela de elevada entropía de energía y materia degradadas. La materia puede ser reciclada; una vez extraída de la corteza terrestre, una gran parte podría mantenerse dentro del flujo circular de la economía monetaria en vez de ser desechada como residuo y devuelta al entorno. Pero reciclar la materia requiere energía, que no puede ser reciclada. En consecuencia, la energía representa en última instancia el factor limitante de la faceta productiva de la economía humana. (Hay límites también en lo referente a residuos, dada la capacidad finita del planeta para absorber nuestros vertidos.) Por esta razón el economista americano de origen rumano Nicholas Georgescu-Roegen describe el proceso de entropía como «la raíz principal de la escasez económica», por la que la energía constituye el recurso maestro.¹⁰

A lo largo del tiempo la economía convencional ha recibido críticas reiteradas a la luz de la termodinámica. Una de estas críticas procedía de otro Premio Nobel de química, el inglés Frederick Soddy. En las décadas de 1920 y 1930 este científico escribió una serie de libros donde desarrollaba la idea de que la economía es, en el fondo, un sistema de utilización de energía. En opinión de Soddy, el principal mecanismo por el que la economía niega esta realidad física es su sistema monetario.¹¹

⁹ Lester Thurow y Robert Heilbroner, *The Economic Problem* (Nueva York: Prentice Hall, 1981), pp. 127, 135.

¹⁰ Nicholas Georgescu-Roegen, «Energy Analysis and Economic Valuation», *Southern Economic Journal*, abril de 1979, p. 1.041.

¹¹ Frederick Soddy, *Wealth, Virtual Wealth, and Debt* (Londres: George Allen & Unwin, 1926); Frederick Soddy, *Money Versus Man* (Nueva York: E. P. Dutton, 1933); Frederick Soddy, *The Role of Money* (Londres: Routledge, 1934, 2003); véase también Herman Daly, «The Economic Thought of Frederick Soddy», *History of Political Economy*, invierno de 1980, pp. 469–88.

Soddy estableció diferencias entre riqueza, riqueza virtual y deuda. La riqueza consiste en las existencias de objetos físicamente útiles producidos por la economía; su origen está en una baja entropía y es susceptible de disminuir su entropía. El dinero es la riqueza virtual; simboliza las demandas sobre la riqueza real de quienes lo poseen y es inmune al deterioro entrópico. La deuda, que ostentan como activo quienes prestan dinero, constituye una demanda sobre la producción futura de riqueza real.

La obra maestra de Georgescu-Roegen, *La Ley de la Entropía y el proceso económico*, es el fundamento de la economía ecológica, una escuela emergente que combina el aprecio por las leyes de la termodinámica con el reconocimiento de que el ser humano recibe de la naturaleza servicios ecosistémicos valiosos

El razonamiento fundamental de Soddy era que cuando se presta dinero a interés compuesto, las demandas sobre la producción futura de riqueza real aumentan exponencialmente, mientras que la riqueza real solo puede crecer de forma lineal, mediante el aumento del trasiego de materiales y energía a través del sistema económico o el logro de una mayor eficiencia. Como el sistema monetario alienta un crecimiento más rápido de la deuda pública y privada del que puede experimentar la producción de medios para su devolución por parte de la economía, el sistema genera una inexorable necesidad de repudio de la deuda. Este puede llegar en forma de inflación, quiebras, desahucios, impago de obligaciones, desplomes en los mercados de valores, bancarrotas, fuertes caídas de fondos de pensiones, colapsos de esquemas piramidales, pérdida de valor de los activos financieros y de cualquier forma de expectativa de beneficios de las inversiones.

Una expansión agresiva del trasiego de materia-y-energía en la economía aumenta las expectativas y esperanzas sociales, además de la generación de riqueza real. Estas expectativas y esperanzas hacen que parezca normal el crecimiento-mediante-endeudamiento, que puede aplazar durante algún tiempo la inevitable conciliación financiera. Sin embargo, este aumento del trasiego topa antes o después con algún límite local o absoluto, la confianza se tambalea y el sistema se colapsa rápidamente. Aplazar el repudio de la deuda garantiza únicamente que este será más duro y sucederá más súbitamente, en forma de crisis, como ocurrió en la Gran Depresión y en todos los bajones experimentados desde entonces por la economía mundial.¹²

Algunos economistas prestaron considerable atención a las ideas de Soddy y las encontraron interesantes, pero la mayoría cerró filas en su contra, ignorando sus ideas y tachán-

¹² Eric Zencey, «The Financial Crisis is the Environmental Crisis», *The Daily News* (Center for the Advancement of the Steady State Economy), 6 de enero de 2011.

dole de maniático y de científico que ha sobrepasado el ámbito de sus conocimientos, un trato parecido al que recibió Ostwald en Berlín.¹³

En la década de 1970 Georgescu-Roegen y su discípulo Herman Daly desarrollaron otra crítica a la economía basada en la termodinámica. La obra maestra de Georgescu-Roegen, *La Ley de la Entropía y el proceso económico*, es el fundamento de la economía ecológica, una escuela emergente que combina el aprecio por las leyes de la termodinámica con el reconocimiento de que el ser humano recibe de la naturaleza servicios ecosistémicos valiosos en términos económicos, pero que generalmente ni pasan por el mercado ni tienen precio.¹⁴

En términos puramente físicos, señalaba Georgescu-Roegen, la economía no pasa de ser un conjunto de instituciones y procesos que nos permiten transformar insumos valiosos con una entropía baja en residuos sin valor alguno pero con una entropía alta. La producción de residuos es por supuesto irrelevante. El bien perseguido es psicológico: el «incremento de un flujo inmaterial, el disfrute de la vida». Si este constituye el objetivo último, valorar la economía por cualquier otro patrón resulta insensato y en última instancia disfuncional. El reconocimiento de la energía como el recurso maestro conduce directamente por tanto a utilizar indicadores económicos alternativos y un sistema de medición que pueda evaluar la capacidad de la economía para proporcionar a las personas bienestar, felicidad o satisfacción vital de forma sostenible.¹⁵

La revolución termodinámica de la economía sugiere asimismo una división conceptual distinta de la actividad humana productiva, una alternativa a la trilogía de tierra, trabajo y capital que preconiza la teoría neoclásica. El valor económico es generado por la inteligencia, que transforma la materia utilizando energía. El capital –las herramientas y equipamiento que utilizamos para aumentar la productividad del trabajo– es materia a la que se ha incorporado energía (la energía utilizada para extraer, refinar, dar forma y montar los materiales que lo componen) e inteligencia (las invenciones e innovaciones acumulativas que han contribuido a su diseño). El trabajo consiste en la energía inteligente discrecional empleada en la producción. La tierra –la naturaleza– es la fuente de toda la materia y la energía, y sus sistemas implican asimismo miles de millones de años de diseño inteligente basado en prueba y error y codificado en los genes, el sistema de almacenamiento de información de la evolución. La consideración de la energía como el recurso maestro ofrece así un hilo conductor para explicar y comprender las relaciones entre economía y eco-

¹³ Frank Knight, «Money», *Saturday Review of Literature*, 16 de abril de 1927, p. 732; Irving Fisher, *100% Money* (Nueva York: Adelphi Company, 1935).

¹⁴ Nicholas Georgescu-Roegen, *La Ley de la entropía y el proceso económico* (Fundación Argentaria, Madrid, 1996); Herman Daly, *Steady State Economics* (Nueva York: W. H. Freeman, 1977).

¹⁵ Georgescu-Roegen, *op. cit.* nota 13, p. 18; Joseph Stiglitz, Amartya Sen y Jean-Paul Fitoussi, Informe de la Comisión sobre la Medición del Desarrollo Económico y del Progreso Social, en http://ambafrance-es.org/france_espagne/IMG/pdf/Commission_Stiglitz_ES.pdf.)

logía, un paso necesario para desarrollar nuestra economía sobre un fundamento ecológicamente sólido.¹⁶

En este modelo resulta más fácil entender que, en condiciones de máxima captación sostenible de materia y energía del medio ambiente, cualquier incremento adicional en la suma total del bienestar humano ha de proceder del desarrollo de la inteligencia —de la innovación, de una distribución inteligente de productos de la economía para lograr un bienestar máximo, de la aplicación de lo que conocemos y de lo que podemos aprender sobre cómo lograr una mayor eficiencia en el trasiego de materia y energía. Por muy imaginativo que resulte ser el ser humano, nunca podrá inventar la forma de burlar las leyes de la termodinámica. La teoría convencional del crecimiento infinito, que proyecta alegremente de forma indefinida las mejoras de productividad derivadas de la innovación tecnológica, niega esta verdad fundamental.

Podremos seguir persiguiendo y disfrutando de una mayor satisfacción vital mientras mantengamos un trasiego constante, estacionario y sostenible de materia y energía en la economía. Nuestra capacidad para aumentar nuestro nivel de vida en una economía en estado estacionario estará limitada únicamente por nuestra inteligencia y nuestra imaginación —y por las leyes de la termodinámica.¹⁷

¹⁶ James H. Keeling, *Quaero [Some Questions in Matter, Energy, Intelligence, and Evolution]* (Londres: Taylor y Francis, 1898), véanse especialmente pp. 7-9.

¹⁷ John Stuart Mill, «Del estado estacionario», Capítulo VI del Libro IV, *Principios de Economía Política* -México: Fondo de Cultura Económica, 2006-); Herman Daly y Joshua Farley, *Ecological Economics: Principles and Applications* (Washington, DC: Island Press, 2011), pp. 6-7.