

***THE ECONOMIC GROWTH ENGINE.
HOW ENERGY AND WORK DRIVE MATERIAL
PROSPERITY, DE ROBERT U. AYRES Y
BENJAMIN WARR. CHELTENHAM, UK:
EDWARD ELGAR, 2009***

Lina Isabel Brand Correa¹

El crecimiento económico es hoy, para la gran mayoría de los países, el principal objetivo de política económica. Desde la época de Solow (1956) y Swan (1956), el principal factor de explicación de la producción de los bienes y servicios que se llevan al mercado se ha apoyado en un factor exógeno llamado tecnología o productividad total de los factores. Y aunque dicho factor ha mutado en su nombre y concepción con el paso de los años, e incluso ha sido endogenizado en algunos modelos de crecimiento económico (comenzado por Romer, 1986), su verdadero sentido aún es bastante ambiguo. Por tanto, algunos autores se refieren a este factor como “la medida de nuestra ignorancia” (Abramovitz, 1956: 11) o más recientemente, como una “caja negra” (Rosemberg, 1982: 11).

En el libro *The economic growth engine. How energy and work drive material prosperity*, publicado en 2009, Robert Ayres y Benjamin Warr hacen un análisis profundo sobre el papel del cambio tecnológico, los recursos naturales y la energía en el crecimiento económico. Ayres, físico y economista estadounidense, y Warr,

¹ Economista. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Joven investigadora Colciencias 2012. Dirección electrónica: librand@unal.edu.co.

Esta reseña fue recibida el 6 de mayo de 2013, ajustado el 20 de mayo de 2013 y su publicación aprobada el 21 de mayo de 2013.

geoestadista inglés, proponen una medida novedosa del cambio tecnológico, fundada en la premisa de que el proceso de producción involucra de manera inevitable flujos de materiales y de energía. En este sentido, las herramientas del análisis termodinámico de los procesos toma relevancia y sentido en la explicación histórica del crecimiento económico y se da un paso muy importante hacia la apertura de la denominada “caja negra”.

Su análisis y propuesta se enmarcan en una crítica profunda y heterodoxa a la teoría neoclásica del crecimiento económico. Son enfáticos en evidenciar que dicha teoría explica el fenómeno del crecimiento como una máquina de movimiento perpetua², ya que no tiene en cuenta los flujos materiales y energéticos presentes en cualquier proceso (incluso la producción de bienes y servicios), además de considerar un factor exógeno y vagamente explicado como su principal impulsor.

Los autores señalan que, por un lado, la teoría neoclásica no tiene en cuenta la realidad termodinámica de todo proceso productivo: considera la materia y la energía como consecuencias y no causas del crecimiento y no tiene en cuenta los desperdicios (en la teoría convencional no causan ningún daño económico y pueden desecharse sin costo alguno). Y por otro lado, señalan que esta teoría funda la explicación del crecimiento económico en la productividad total de los factores (PTF, o cambio tecnológico), sin explicar de manera específica cómo varía dicha productividad y suponiendo su incremento perpetuo hacia el futuro, apoyándose en su comportamiento pasado (llevamos doscientos años de crecimiento sostenido; por ende, es fácil suponer que el futuro será como el pasado).

Además, los autores cuestionan muchos de los supuestos acerca del comportamiento de los agentes y de las formas prácticas de las funciones de producción. En este sentido subrayan la falta de realismo de los supuestos de comportamiento egoísta, la maximización de la utilidad por medio de comportamiento racional, competencia e información perfectas, equilibrio y optimalidad de Pareto. En este punto cabe recordar la controversia del capital³, en la cual los críticos de Cambridge (Inglaterra) plantean que no tiene sentido considerar una variable de capital agregado en la función de producción, pues la agregación implica homogeneidad (Harcourt, 1969)⁴.

Específicamente al modelo de Solow (que utiliza la función de producción de Cobb-Douglas) le critican el supuesto de rendimientos constantes a escala, pues

² El diagrama de flujo circular del ingreso, tan común en libros de texto de economía para ilustrar el funcionamiento del sistema económico, es una representación gráfica de una máquina de movimiento perpetua. Este tipo de máquina se buscaba en la época de la visión mecanicista del mundo, pero con el desarrollo de la termodinámica se ha entendido que es imposible encontrarla en la realidad. Según Mirowski (1984), los economistas neoclásicos continúan concibiendo el mundo a partir de la primera ley de la termodinámica, es decir, de la ley de la conservación de la energía.

³ También subrayan los autores las críticas a la concepción del capital, en especial a su medición en términos monetarios, que no dan cabida a cambios en el aumento de la productividad o calidad del capital en uso.

⁴ Esta controversia tiene sus orígenes en los años treinta, con la aparición de la noción de sustitución entre los factores de producción (García Molina, 2005).

es poco realista, y aunque proporciona una interpretación económica inmediata de los parámetros de la función (productividades marginales), también implica que dichas productividades son constantes en el tiempo y equiparables con los pagos a los factores en el Sistema de Cuentas Nacionales: rendimiento del capital y salarios. Aun teniendo en cuenta estas críticas, las regresiones hechas bajo el modelo de crecimiento económico neoclásico presentan por lo general buenos ajustes estadísticos, pero como han señalado otros autores (Felipe y Adams, 2005; Shaikh, 1974), se debe a que la función de producción Cobb-Douglas reproduce una identidad con algunos errores.

A partir del segundo capítulo, Ayres y Warr empiezan a elaborar su discurso en lo que respecta al tema central del libro: el progreso tecnológico. Comienzan con un análisis de las explicaciones tradicionales del cambio tecnológico (o PTF) y concluyen que presentan problemas en cuanto a su concepción y cuantificación. El cambio tecnológico se considera homogéneo, autónomo y autorreproducible (equiparable con la acumulación de conocimiento en los modelos de crecimiento endógeno); de allí que no se hagan diferenciaciones entre distintos tipos de innovaciones⁵, se considere que el progreso tecnológico puede crecer indefinida y exponencialmente y que es exógeno. Así, según ellos, medir el progreso tecnológico por número de publicaciones en revistas científicas o número de patentes resulta problemático, pues los efectos de unos y otros tipos de innovaciones son de diferente magnitud. Además, el comportamiento racional implicaría rendimientos decrecientes en el caso de las innovaciones paulatinas a medida que se agotaran las posibilidades de hacer mejoras y ninguna inversión en el caso de las innovaciones radicales a causa de los altos riesgos.

Así las cosas, la alternativa propuesta por los autores se basa en una revisión rigurosa de la historia de las mejoras tecnológicas en los Estados Unidos desde mediados del siglo XIX hasta la actualidad, a partir de la cual encuentran una relación entre el progreso tecnológico y las mejoras en la eficiencia exergética⁶. Es decir, los cambios tecnológicos se encaminan a mejoras en la tasa en la que cada unidad de energía se convierte en trabajo útil, teniendo en cuenta tanto el potencial de conversión de las fuentes de energía en exergía como la eficiencia de las máquinas y los procesos de conversión que terminan expresándose finalmente en trabajo efectivo (que se consume en los procesos productivos y por ende es relevante para la economía). Es este último, el trabajo útil, el que los autores terminan incluyendo en su modelo como un tercer factor de producción.

⁵ Existen unas innovaciones paulatinas (usherianas) a causa de un proceso de retroalimentación positiva endógena al crecimiento con el objetivo de reducción de costos y aumento de la demanda, y existen otras radicales (schumpeterianas) que tienen mayor influencia en el crecimiento a causa de spillovers en otros sectores diferentes del sector donde se dio en un comienzo la innovación y que se dan como superación de una barrera.

⁶ Siguiendo a Kostic (2007: 9), “la exergía se define como el máximo trabajo posible que se puede obtener de un sistema, al traerlo al equilibrio con alrededores de referencia (estado muerto) en un proceso”.

Pero ¿qué impulsa el cambio tecnológico? Los autores señalan varios factores: la escasez de recursos, la búsqueda de una solución a problemas específicos, la expectativa de mayor riqueza, la necesidad de superar una barrera (física, militar, geopolítica, ambiental, modificación a una idea original, etc.) y algunas veces las innovaciones se dan de manera accidental. También señalan algunos obstáculos que el cambio tecnológico enfrenta: *lock-in* en patrones subóptimos a causa de rendimientos positivos de escala y regulaciones obsoletas o inapropiadas, “dependencia del sendero”, falta de incentivos de inversión para el sector privado, límites físicos que no se pueden superar con el conocimiento y los desarrollos de la física clásica. En consecuencia, diversos impulsos y obstáculos ocasionan la discontinuidad en la evolución de la tecnología como aspecto fundamental. En síntesis, el cambio tecnológico es heterogéneo y discontinuo (no es homogéneo), se da por acciones humanas impulsadas por incentivos (no es autónomo) y depende de impulsos y obstáculos (no es autorreproducible). Por último, señalan que la actividad conocimiento-creación es en esencia acumulativa; por consiguiente, es socialmente deseable reducir los costos de la difusión del conocimiento.

Para medir el trabajo útil, los autores inicialmente hacen un análisis histórico del metabolismo industrial (flujos de materia y energía) de los Estados Unidos, utilizando como herramienta contable el principio de balance de materiales y de energía para ver las ineficiencias del sistema económico en cuanto a generación de desperdicios y pérdidas de energía. Utilizan una unidad común de medida, a saber, la exergía, para que la agregación de flujos de materia tenga sentido⁷. Las observaciones más importantes en este punto tienen que ver con la evolución de la tasa masa/exergía, que ha decrecido a lo largo del siglo XX en dicho país (“hidrogenización” y utilización de materiales menos pesados en la economía) y la evolución de las curvas masa/producto interno bruto (PIB) y exergía/PIB, que presentan un pico a comienzos de los años veinte y luego declinan de manera monótona (sin ser paralelas, indicando mayor eficiencia).

Luego hacen otro análisis histórico, esta vez de la eficiencia de conversión de la exergía a la economía, es decir, del trabajo útil. Para ello tienen en cuenta unos recursos que son fuentes de exergía (carbón, petróleo, gas natural) y su distribución en las diferentes categorías del trabajo útil (definidas por los autores como calor, luz, electricidad, motores primarios y usos no combustibles)⁸. El trabajo útil de hombres y animales (muscular) no se considera, pues su magnitud es comparativamente muy pequeña. De esta manera, los autores describen la evolución de las mejoras en la eficiencia de conversión de exergía a trabajo útil en cada una de las categorías señaladas arriba y para cada insumo de exergía que se utilice. Es importante tener en cuenta que solo consideran las mejoras de eficiencia termo-

⁷ Tanto materia como energía tienen un contenido exegético; de allí que medir en función de exergía permita hacer agregaciones de materia y comparaciones con el contenido exegético de las fuentes de energía (Wall, 1977).

⁸ Otros recursos que son insumo de exergía no se analizan, pues se utilizan solo para un trabajo útil (comida → trabajo muscular; leña → calefacción; potencia hídrica y nuclear → electricidad).

dinámica en el nivel conversión/transferencia y no optimizaciones en los sistemas (por ejemplo, reducción del peso de los materiales y de la fricción). De este análisis se concluye que la eficiencia técnica agregada de la conversión de exergía en trabajo (trabajo total producido/insumo exergético) muestra una curva ascendente en el siglo xx para los Estados Unidos y Japón (aunque mayor para este).

Ya con la explicación histórica de la evolución de las variables exergía (E) y trabajo útil (U) y de su construcción como series de tiempo, se obtiene el tercer factor de producción (endógeno) que incluyeron los autores en una función de producción agregada llamada Linex⁹, con objeto de comprobar su poder explicativo y cuantificar su aporte al crecimiento económico de los Estados Unidos en el siglo xx. En dicha función se utilizan las otras variables económicas tradicionales (capital K , trabajo T , producto Y), a pesar de reconocer que no son del todo perfectas (recuérdense las críticas señaladas). Se plantea que hay una causalidad multidireccional entre las cuatro variables y una sustitución no perfecta entre los factores (hay espacio para la complementariedad). Se supone que la función muestra rendimientos constantes a escala, lo cual implica en términos matemáticos que es homogénea de primer grado (cada variable está sujeta a rendimientos decrecientes).

El término U es un bien intermedio, es decir, es el producto de un sector (con insumos de K^* y L^* , y una fracción de U^*) que se utiliza en otro sector de la economía. Mediante transformaciones matemáticas se puede obtener una expresión del multiplicador $A(t)$ que depende bastante de U y más débil e inversamente de K y L , es decir, como una función de la eficiencia de conversión de recursos. El modelo descrito arriba se ajusta muy bien a los datos históricos del PIB de los Estados Unidos y Japón durante el siglo xx, utilizando un método de optimización lineal, lo cual lleva a los autores a concluir que el trabajo útil puede considerarse un factor de producción con gran poder explicativo, tanto por su papel en la producción física como por su “contenido” implícito del cambio tecnológico.

A pesar de ciertas advertencias en términos estadísticos y de algunos supuestos (una función de producción agregada definible y medible y rendimientos constantes a escala), según los autores el extraordinariamente buen ajuste del modelo Linex (excepto con un fuerte quiebre entre 1940 y 1947 a causa de la Segunda Guerra Mundial) sugiere que puede ser útil para predecir el futuro (si explica tan bien el pasado con tan pocos parámetros libres, no hay razón para suponer que la relación será inválida de la noche a la mañana). Dicha predicción se hace por medio de extrapolaciones de las variables K , L , E y U , presumiendo comportamientos de acuerdo con lo descrito (análisis históricos) y verificándolos con fundamento en las series de tiempo históricas.

En conclusión, Ayres y Warr señalan que los resultados de la extrapolación tienen fuertes implicaciones: el crecimiento económico futuro depende, o de caídas continuas en el costo de la energía primaria, o de un acelerado aumento en la efi-

⁹ Esta función la planteó en un comienzo Kümmel (1982) utilizando la energía, y luego la adaptaron los autores para el caso de la exergía.

ciencia de conversión de exergía en trabajo útil. Estas dos circunstancias no están garantizadas en el futuro, y la primera parece ir en sentido contrario. Además los resultados reflejan una clara sustitución de trabajo útil por trabajo humano no calificado (el cual es prácticamente improductivo en el margen), convirtiendo el trabajo en un recurso no escaso y con implicaciones para el futuro de las tasas de natalidad (cada vez es más difícil mantener ocupadas produciendo a todas las personas que quieren estarlo).

En síntesis: este modelo da un paso muy grande hacia la integración de los conceptos y principios termodinámicos con los conceptos y modelos económicos, por medio de una nueva variable: trabajo útil (U). Esta variable tiene la ventaja de incluir en sí misma tanto las leyes de la termodinámica como la evolución de la tecnología a lo largo de la historia. Su inclusión en la función de producción Linex prácticamente soluciona el gran interrogante de la teoría neoclásica (proporciona una medida *explícita y objetiva* del cambio tecnológico) y “endogeniza” la explicación del crecimiento económico. Además, el modelo de Ayres y Warr flexibiliza algunos de los supuestos de la teoría convencional, en especial el de sustitución perfecta entre factores, y aunque mantiene otros (como los rendimientos constantes a escala), parece ser más cercano a la realidad de la producción de bienes y servicios. Por último, cabe señalar que la gran deuda del modelo podría ser la no inclusión específica del papel de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones, que evidentemente están cambiando la manera de entender la producción en la economía.

APÉNDICE

El capítulo 9 del libro de Ayres y Warr, saliéndose un poco de su línea general, desarrolla un modelo simplificado para verificar si se da una convergencia entre países (a causa del supuesto de rendimientos decrecientes de los factores). En este se hacen supuestos muy fuertes y restrictivos, además de generalizar demasiado (se analizan todos los países del mundo) y presentar resultados solo en función de la economía estadounidense. Sin embargo, conviene acentuar que en su construcción se propone una interesante *proxy* del trabajo útil, dadas las limitantes de información estadística en la mayoría de los países en vías de desarrollo: electricidad + fracción de consumo de petróleo.

REFERENCIAS

1. Abramovitz, M. (1956). Resource and output trends in the United States since 1870. *American Economic Review*, 46(2), 5-23.

2. Ayres, R., & Benjamin, W. (2009). *The economic growth engine. How energy and work drive material prosperity*. Cheltenham, UK: Edward Elgar.
3. Felipe, J., & Adams, F. G. (2005). A theory of production. The estimation of the Cobb-Douglas function: A retrospective view. *Eastern Economic Journal*, 31(3), 427-445.
4. García Molina, M. (2005). Capital theory and the origins of the elasticity of substitution (1932-35). *Cambridge Journal of Economics*, 29, 423-437.
5. Harcourt, G. H. (1969). Some Cambridge controversies in the theory of capital. *Journal of Economic Literature*, 7(2), 369-405.
6. Kostic, M. (2007). Physics of energy. *Encyclopedia of Energy Engineering*. Taylor & Francis.
7. Kümmel, R. (1982). The impact of energy on industrial growth. *Energy*, 7(2), 198-203.
8. Mirowski, P. (1984). Physics and the marginalist revolution. *Cambridge Journal of Economics*, 8(4), 361-379.
9. Romer, P. M. (1986). Increasing returns and long-run growth. *The Journal of Political Economy*, 94(5), 1002-1037.
10. Rosenberg, N. (1982). *Inside the black box: The effects of energy supply characteristics on technology and economic growth*. Cambridge: Cambridge University Press.
11. Shaikh, A. (1974). Laws of production and laws of algebra: The humbug production function. *The Review of Economics and Statistics*, 56(1), 115-120.
12. Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70, 65-94.
13. Swan, T. (1956). Economic growth and capital accumulation. *The Economic Record*, 32(68), 334-361.
14. Wall, G. (1977). Exergy a useful concept within resource accounting. Göteborg, (Sweden): Chalmers University of Technology y University of Göteborg.

