

LA ENERGÍA Y LA TEORÍA NEOCLÁSICA DEL CRECIMIENTO

Darío Ezequiel Díaz*

Resumen. La energía es la fuerza principal que impulsa todas las actividades económicas. La misma está implícitamente incorporada en la Economía Neoclásica como el esfuerzo de la mano de obra. La energía proveniente de fuentes no humanas (carbón, petróleo, electricidad, alimentos y fertilizantes) se incorpora en la Economía únicamente como insumos intermedios, es decir, se anexa a las cuentas del ingreso nacional de un país como el valor agregado del sector energético.

El presente artículo tiene como objetivo hacer una revisión referente a la incipiente incorporación de la energía en los modelos de crecimiento económico de la literatura neoclásica y *mainstream*. No se desarrollarán conceptos relacionados con el ámbito de la Economía Ecológica.

Palabras clave: Energía; Crecimiento Económico; Economía Neoclásica.

* Becario de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, cursando el Doctorado en Ciencias Económicas (Mención Economía) de la Universidad Nacional de Córdoba.

Contacto: dariodiaz10@gmail.com

Abstract. Energy is the main force behind all economic activities. It is implicitly embedded in neoclassical economics as the effort of labor. Energy from non-human sources (coal, oil, electricity, food and fertilizers) is incorporated in the economy only as intermediate inputs, ie attached to the national income accounts of a country as the added value of the energy sector.

This article aims to present a review regarding the emerging incorporation of energy in economic growth models and *mainstream* neoclassical literature. Not develop concepts related to the field of ecological economics.

Key words: Energy; Economic Growth; Neoclassical Economics.

1. Introducción

En la Teoría del Crecimiento Económico, la construcción neoclásica de la economía se basa en tres factores de la producción: capital, trabajo y tecnología. La producción en cada período comienza con una cantidad dada de capital, mano de obra y tecnología, y termina en la producción de bienes. El capital tiene su origen en períodos anteriores: es simplemente una parte de la producción de la economía que se acumuló en fases previas. Los economistas neoclásicos en general se resisten en explicar cómo la mano de obra se produce o se reproduce, sino que meramente asumen que la misma crece de forma exógena¹. La tecnología es descrita como el acervo de conocimientos disponibles en una economía. Los conocimientos pueden ser incorporados en las máquinas, las capacidades humanas, o puede tomar la forma de arreglos y acuerdos sociales (Alam, 2005).

La energía, ausente de la contabilidad de la economía, es la fuerza principal que impulsa todas las actividades económicas. Efectivamente, la energía está implícitamente incorporada en la Economía Neoclásica como el esfuerzo de la mano de obra. La energía proveniente de fuentes no humanas (carbón, petróleo, electricidad, alimentos y fertilizantes) se incorpora en la economía únicamente como insumos intermedios, es decir, se anexa a las cuentas del ingreso nacional de un país como el valor agregado del sector energético. La energía, bajo esta concepción tradicional, no es considerada como un factor de producción.

Además, en la Economía Neoclásica existe un profundo aislamiento de la naturaleza y de sus recursos energéticos. La base de la teoría del equilibrio es que si los hechos alteran el curso de la demanda y de la oferta, en cuanto los mismos desaparecen, el proceso económico vuelve siempre a sus condiciones previas. Los economistas neoclásicos se obstinan en permanecer fieles a la epistemología mecanicista implantada por los fundadores de la Escuela Neoclásica. El proceso económico no es un proceso aislado y autónomo, y no puede funcionar sin un intercambio continuo que altera el entorno de modo acumulativo, ni tampoco sin verse influido por esas alteraciones (Georgescu-Roegen, 1976). Los economistas clásicos, y Malthus en particular, insistieron en la importancia económica de este hecho. Sin embargo, los ortodoxos y marxistas ignoraron completamente el tema de los recursos naturales. La idea básica es que en el estado estacionario un flujo material emerge de una fuente invariable. Hay un mito de un mundo estacionario, con una población en crecimiento cero, donde no habría preocupación sobre la escasez de recursos o contaminación.

Nicholas Georgescu-Roegen (1976) fue uno de los primeros economistas en manifestarse respecto a la ausencia de energía en la teoría económica. Señaló que los marxistas y los economistas neoclásicos se abstraieron de la naturaleza; tomaron los recursos y los flujos de energía por sentado e ignoraron los desechos de la producción de la economía. La Economía estándar, Georgescu-Roegen (1976) argumentaba, no reconoce que los recursos terrestres de la energía y los materiales

¹ Las versiones recientes del modelo de crecimiento internalizan el cambio tecnológico. Véase Lucas (1988) y Romer (1990).

utilizados irrevocablemente se agotan y los efectos nocivos de la contaminación sobre el medio ambiente se acumulan (p. 30). El optimismo de los economistas sobre las infinitas posibilidades de crecimiento se basa en esta visión del mundo que excluye a la naturaleza en su cálculo.

Desde otra visión, pero abordando la misma temática respecto a la disociación de la naturaleza y de la energía en los procesos económicos, Jemelkova y Toman (2003) argumentan que la mayor parte de la literatura sobre la energía y el desarrollo económico explica cómo este último afecta al primero, pero no viceversa. La literatura *mainstream* concerniente al efecto de los cambios de la oferta energética en el crecimiento económico de los países en desarrollo y desarrollados es limitada. Los analistas financieros prestan mucha atención a los efectos del precio del petróleo y otros productos de la energía en la actividad económica en el corto plazo, pero la teoría general del crecimiento económico presta poca o ninguna atención al rol de la energía y otros recursos naturales. Una excepción fue el amplio debate sobre la “desaceleración de la productividad” a raíz de la crisis del petróleo de 1970, protagonizada principalmente por los denominados “economistas de los recursos” (defensores de la Economía Ecológica). La teoría *mainstream* del crecimiento ha sido criticada por varios motivos, especialmente sobre la base de las consecuencias de la termodinámica para la producción económica y las perspectivas a largo plazo de la economía.

Por último, bajo el paradigma de desarrollo sostenible, incorporando a la energía dentro de los modelos de crecimiento económico y a partir de la concepción de la limitación de los recursos naturales (y energéticos), surge espontáneamente que para un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, la demanda tendrá que ser igualmente creciente de energía. Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen otros nuevos métodos para obtener energía: éstas serían las energías alternativa.

El presente artículo tiene como objetivo hacer una exhaustiva revisión de la literatura neoclásica y *mainstream* respecto al tratamiento de la energía en los modelos teóricos del crecimiento económico, excluyendo aspectos relacionados del ámbito de la Economía Ecológica, Bioeconomía y la Economía Verde.

El aporte del presente artículo pretende exponer brevemente cómo la Teoría Neoclásica explicó el proceso de crecimiento económico de una economía a partir de la omisión de la energía como factor de producción (o más bien suponiéndola implícita dentro del factor trabajo), y asimismo, cómo fracasó en la justificación del estancamiento y pobreza endémica de las economías orgánicas antes y después del 1800.

2.1. La Energía en la Economía Clásica y Neoclásica

Aunque los economistas clásicos no reconocen explícitamente a la energía *per se* como un factor de producción, entienden claramente los límites que la tierra (la naturaleza) impone a las actividades económicas, especialmente en la agricultura. Siguiendo

con esta visión, divide la economía en dos sectores distintos: la agricultura y la manufactura. Esta distinción influye en la teoría clásica del crecimiento económico (D'Arge y Kogiku, 1973).

Los economistas clásicos exploran las contribuciones de la tierra a la economía con el fin de explicar la presencia de una oferta en la agricultura, por encima de los costes de mano de obra y capital². La explicación de Adam Smith de este excedente fue directa: en la agricultura, *la naturaleza trabaja con el hombre*, mientras que en las manufacturas *la naturaleza no hace nada, el hombre lo hace todo*. Cuando los economistas clásicos hablan de la fertilidad *de la naturaleza* (Adam Smith), *las fuerzas productivas e indestructible del suelo* (David Ricardo), *los poderes naturales e inherentes del suelo* (John McCulloch), ni hablar de la tierra como *un taller de química maravillosa en el que muchos materiales y elementos se mezclan y se trabajan* (Jean-Baptiste Say), su lenguaje expresa una clara comprensión de la energía que la naturaleza contribuye a la economía. La teoría clásica incorporó estas ideas acerca de los “poderes” de la naturaleza en tres pasos. En primer lugar, los economistas clásicos dividieron su economía en dos sectores, la agricultura y la manufactura. En segundo lugar, se define la distinción de la agricultura, al reconocer que la mano de obra y capital trabajaron con la tierra, un tercer factor de producción. En tercer lugar, se suponía que la tierra a disposición era una cantidad fija, y en algunas formulaciones, su calidad fue variable. La oferta fija de tierra produjo una tendencia a la disminución de los rendimientos del capital y mano de obra en la agricultura. La presencia de los rendimientos decrecientes (de la mano de obra y del capital) en la agricultura resume las limitaciones que la naturaleza impone a la economía.

Los economistas neoclásicos no admiten a la energía en su marco macroeconómico, ni siquiera de manera implícita. Esto se desprende del rechazo de la tierra como factor de producción; la tierra subsume bajo la rúbrica de capital. En el destierro de la tierra de su marco macroeconómico, los economistas neoclásicos efectivamente rompen los vínculos de la economía con la naturaleza, lo que excluye a la energía como un factor de producción de la economía. En ausencia de la tierra, no hay razón para dividir la economía en dos sectores. Los economistas neoclásicos tratan a la energía como una materia prima o un bien intermedio. La obtención de productos energéticos (como el petróleo, la electricidad o el fertilizante) son analíticamente equivalentes al vidrio, al acero, a la madera o al algodón en bruto. Esto es problemático (Daly, 1991).

Se pasa por alto una diferencia fundamental en la función que la energía y la materia tienen en la economía. El petróleo proporciona la energía (el agente de cambio) que impulsa los procesos que transforman el mineral de hierro en hierro, acero, y, finalmente, en miles de productos de acero final. La energía impulsa el trabajo que convierte las materias primas en productos finales.

² Los fisiócratas también afirmaron que la agricultura era la única actividad que producía un producto neto por encima y más allá de los pagos efectuados al capital y a la mano de obra.

La decisión neoclásica de abandonar a la tierra como único factor de producción fue también motivado por la necesidad de explicar la nueva era de crecimiento sostenido que comenzó en el siglo XIX. Los economistas clásicos no pudieron explicar el crecimiento sostenido; en el largo plazo, sus economías terminaron en el estado estacionario, caracterizado por stocks constantes de mano de obra y capital. Sin embargo, en lugar de reconocer que el crecimiento sostenido estaba siendo estimulado por la infusión de energía proveniente de una fuente exógena (combustibles fósiles), los economistas neoclásicos decidieron suprimir la tierra como un factor limitante del crecimiento. Redefinieron a la tierra como capital. Una economía con sólo dos factores de producción (capital y trabajo, ambos capaces de crecer por tiempo indefinido) podrían escapar del fantasma de los rendimientos decrecientes. Al menos, el crecimiento extensivo, con capital y mano de obra (complementariamente) ahora podría ocurrir de forma indefinida.

Por supuesto, el excluir a la tierra en la función de producción crea sus propios problemas a la Economía Neoclásica. Wrigley (1992) ha demostrado que el modelo de dos sectores de los economistas clásicos tuvo bastante éxito en la captura de la dinámica esencial de las economías preindustriales, caracterizado por la pobreza endémica, que derivan su energía de fuentes orgánicas. Una vez que los economistas neoclásicos excluyen a la tierra de su economía, su redefinición del único sector económico, no podría explicar el casi estancamiento y la pobreza endémica de las economías orgánicas antes y después del 1800. Esto ahora se explica invocando las barreras culturales e institucionales que bloquearon los ahorros, la acumulación de capital y cambio tecnológico.

2.2. El trabajo y el capital

Aunque los textos de economía identifican al capital y al trabajo como factores de producción, dicen muy poco acerca de los dos factores que contribuyen a la producción de bienes y servicios. Las definiciones de los libros de texto respecto al trabajo y al capital son en el mejor de los casos, superficiales. Se define el trabajo como el esfuerzo, medido en horas de trabajo, y al capital como la producción o “hecho por el hombre”. Es curioso que el trabajo sea definido por su función, mientras que el capital sea definido por quién lo produce. Presumiblemente, este capital se diferencia del trabajo como si el trabajo es un factor natural de la producción, y no un producto de la economía (Tahvonen y Salo, 2001).

Existen otras inconsistencias en la forma en que los economistas definen los factores de producción. Aunque los animales de tiro previamente ocuparon el segundo lugar respecto a los seres humanos como principales motores en la economía, no se han incorporado explícitamente en el marco de los economistas clásicos o neoclásicos, como un factor independiente de la producción. En algunos escritos clásicos se agruparon, bajo la denominación de capital, los animales de tiro, el viento (molinos de agua) y otros motores principales.

La definición de las funciones de trabajo y de capital es más sencilla bajo el marco de una economía basada en la energía. De hecho, sus funciones se definen en relación a

la energía. Tanto el capital y la mano de obra desempeñan las mismas funciones duales de apoyo en la economía de la energía. De diferentes maneras, ellos (i) convierten los flujos de energía, y (ii) controlan, dirigen y manipulan, la energía utilizable para producir bienes y servicios. En otras palabras, el capital y la mano de obra, suministran energía y determinan la manera en que se utiliza (Daly, 1997).

Alam (2005) introduce el concepto de los dos tipos de conversiones de energía que se producen en la economía: los orgánicos e inorgánicos. El primero es el trabajo de los organismos vivos, y el segundo se produce a través de la acción de la materia inorgánica. Las conversiones orgánicas comienzan con las plantas, que convierten la energía solar en compuestos orgánicos. A su vez, los animales convierten la energía que obtienen de las plantas en una nueva serie de compuestos orgánicos que producen calor corporal, actividad mental, y energía cinética. En la economía, los seres humanos están en la cúspide de esta cadena de conversión orgánica. Durante gran parte de la historia, la principal salida de los convertidores humanos fue la energía cinética.

Las conversiones de naturaleza inorgánica toman muchas formas. El sol transfiere calor a la corteza terrestre, que, a su vez, produce una afluencia masiva de energía cinética en forma de vientos, tormentas, nubes, lluvia, ríos, olas y corrientes oceánicas. La luna produce las mareas. Durante millones de años, la gravedad de la Tierra ha actuado sobre la materia orgánica para transformarla en combustibles fósiles, carbón, petróleo y gas. A esta cadena de transformadores, los seres humanos han agregado una variedad de dispositivos - bienes de capital - que recogen la cadena de conversiones. El objetivo de estos nuevos convertidores es transformar la energía en formas que sean directamente utilizables en los procesos económicos. A falta de un mejor término, ésta clase de dispositivos se denominan convertidores sintéticos.

Los convertidores sintéticos son más versátiles que los seres humanos. Como los convertidores, los seres humanos son capaces de transformar una gama muy limitada de sustancias orgánicas (algunas plantas y alimentos de animales) en energía cinética y energía neural. Los convertidores inorgánicos hoy en día efectúan una gama más amplia de conversiones de energía. Por ejemplo, las máquinas de vapor convierten la madera (como combustible) en energía cinética; las máquinas de vapor y motores de combustión interna convierten sustancias inorgánicas (combustibles fósiles) en energía cinética; el viento y los molinos de agua aprovechan la energía cinética en la naturaleza para su uso en la economía; las turbinas convierten la energía cinética en energía eléctrica, y los motores eléctricos convierten la electricidad en energía cinética. Los últimos dos convertidores han aumentado considerablemente nuestra capacidad de transporte de los flujos de energía a los puntos donde se pueden explotar para el trabajo. La versatilidad de los convertidores sintéticos es un fenómeno reciente. El descubrimiento de la electricidad ha producido una proliferación de convertidores, como el motor eléctrico, la bombilla, la radio, el telégrafo, el teléfono, el fax, la televisión, el ordenador, etc. Los seres humanos desarrollaron una segunda función en la gestión económica de los flujos energéticos. Estos agentes pensantes, junto con su capacidad de ejecutar movimientos cinéticos complejos (su oído, la vista y el habla) están dotados de una amplia gama de poderes sobre sus propios flujos de energía, así como las de otros seres humanos, animales de tiro, y todos los convertidores sintéticos. Más allá

de la dirección de estos flujos de energía, los seres humanos tienen la posibilidad de utilizar sus facultades mentales para modificar continuamente el funcionamiento de los sistemas de energía con el fin de mejorar su eficiencia. Es sólo desde principios de 1800, que los sistemas de energía de la economía se han vuelto más complejas, y un número creciente de personas han comenzado a dedicar una parte cada vez mayor de su tiempo a estas funciones creativas y de gestión. En la ejecución de sus funciones directivas, los seres humanos a menudo recurren a una variedad de herramientas e instrucciones codificadas. Las máquinas más complejas utilizan una variedad de dispositivos para explotar, transmitir, guiar, modificar y ampliar la energía cinética de los convertidores para realizar tareas complicadas.

3. La teoría *mainstream* del crecimiento

Dado que el análisis estándar de las fuentes de crecimiento está basado en la función de producción neoclásica, se debe examinar cómo este análisis se ve afectado por la incorporación de la energía en la economía.

El análisis neoclásico de las fuentes de crecimiento supone la existencia homogénea de mano de obra y de capital. Esta suposición se hace insostenible en nuestra economía basada en energía, donde el trabajo realiza dos funciones. La primera, en ser el primer motor que proporciona la energía muscular para actividades de producción y consumo; y la segunda, en realizar una función de control, dirección de los flujos de energía, con o sin la ayuda de herramientas, hacia actividades de producción y consumo. En cualquier economía, la proporción en que los trabajadores combinan estas dos funciones varía de una actividad a otra³. Dado que el crecimiento económico reasigna el trabajo a través de actividades, lo cual cambia la proporción en que el trabajador promedio desempeña su función doble, la naturaleza del insumo trabajo cambia con el crecimiento. Por lo tanto, el análisis ortodoxo de las fuentes de crecimiento sólo se aplicará a una curiosidad teórica: el crecimiento sin cambios estructurales (Alam, 2005).

Este argumento se aplica con mayor razón a un crecimiento que vaya acompañado de un cambio progresivo de energía orgánica a inorgánica. Como la energía inorgánica – sea obtenida a partir del viento, el agua o los combustibles fósiles – sustituye al músculo humano en cualquier economía, cada vez más los trabajadores se pasan el tiempo ejerciendo funciones de control. Este cambio en las funciones desempeñadas por los trabajadores puede producirse sin la adquisición de nuevos conocimientos y sin cambios en las habilidades, utilizando una porción mayor de su tiempo realizando operaciones de control. Como resultado de ello, haciendo abstracción de los cambios estructurales, el carácter del trabajo cambiará con el crecimiento. Una vez más, lo que limita el uso del análisis de las fuentes de crecimiento.

³ En las economías preindustriales, el primer motor de los trabajadores fue dominante en la agricultura, la minería y las manufacturas. Por otra parte, la función de control fue más importante en los servicios bancarios, comercio, salud, educación y gobierno.

Alam (2005) afirma que en el marco neoclásico, ninguna parte del crecimiento económico se atribuye a la mayor utilización de la energía. La energía (por ejemplo, en forma de electricidad) simplemente ingresa en las cuentas del producto nacional, como parte de la producción de la economía. Este tratamiento de la energía no es convincente. Para una explicación más clara, el autor cita un ejemplo. Suponga una economía cuya actividad principal es la molienda de harina: se emplea molinos para moler el trigo importado en harina. Hace cincuenta años, cada molino de viento podría moler sólo 100 libras de trigo todos los días; se tomaba a un trabajador para operar por cada molino de viento, independientemente de su velocidad. Con el tiempo, un cambio en el clima ha duplicado la velocidad del viento, de modo que cada molino muele ahora 200 libras de trigo... (Alam, 2005, p. 15) La pregunta que se realiza el autor es: ¿Cuál es el origen de esta duplicación de la producción en más de cincuenta años? La respuesta, si bien es simple, deja al descubierto muchas fallas del análisis neoclásico tradicional. Aunque un solo trabajador opera cada uno y los molinos de viento de hoy son idénticos a los utilizados hace cincuenta años, un economista neoclásico que sólo observa que no se registraron cambios en los factores de trabajo y capital en más de cincuenta años, atribuye la duplicación de la producción al cambio técnico. Pero incorporando la energía en el análisis, una duplicación de la energía cinética aprovechada por el molino de viento produce la duplicación de la producción de los molinos de viento⁴. El crecimiento de esta economía se deriva únicamente de un mayor uso de la energía.

La teoría *mainstream* del crecimiento económico se puede clasificar en tres modelos:

a. Modelos de crecimiento sin recursos

En el modelo original de crecimiento de Solow (1956), conocido como el Modelo Neoclásico de Crecimiento, la economía tiene que llegar a un estado estacionario en el que no existe una inversión adicional (neta). El crecimiento es una fase de transición, donde un país está moviéndose hacia el estado estacionario. Una economía subdesarrollada, con un pequeño stock de capital por trabajador, puede lograr un rápido crecimiento, mientras desarrolla su stock de capital. Pero si la tasa de ahorro se mantiene constante en todas las economías se llegará a alcanzar un equilibrio de crecimiento cero. Ningún país puede crecer a perpetuidad sólo mediante la acumulación de capital. Si la tasa de ahorro se incrementa, ocurrirá un nuevo crecimiento durante un tiempo hasta que un nuevo equilibrio se alcance, pero cuanto mayor sea la tasa de ahorro, menor será el nivel de vida actual de la población. Según esta teoría neoclásica básica del crecimiento, la única causa del continuo crecimiento económico es el progreso tecnológico. Intuitivamente, el aumento en el estado del conocimiento tecnológico eleva la tasa de rendimiento del capital, compensando así los rendimientos decrecientes de capital que de otro modo aplicaría un freno al crecimiento. Los modelos originales no explicaron cómo las mejoras en la tecnología se concretarían. Los mismos

⁴ Los resultados de este ejercicio no cambian si el molino de viento 'tiene que pagar por su energía.

sólo asumen que dicho cambio técnico sería exógeno. Los modelos más recientes intentan “endogeneizar” el cambio tecnológico, como el resultado de las decisiones adoptadas por las empresas y los individuos.

Existen algunos tipos diferentes de modelos de crecimiento endógeno (Aghion y Howitt, 1998). Los primeros modelos de cambio tecnológico endógeno permitieron que el estado tecnológico responda a los cambios en una de las variables, pero no explicitaron en dicho modelo el proceso de optimización. En los modelos de “aprendizaje en la práctica” (*Learning-by-doing*⁵) el estado de la tecnología es una función de producción acumulada. En el modelo original de Arrow (1962) la productividad de los bienes de capital mejora con el tiempo a medida que una mayor proporción de bienes son producidos en forma acumulativa. En otras versiones, la curva de aprendizaje implica aumento de la productividad en la producción de un bien como si fuera producción acumulada. En los modelos inducidos por el cambio tecnológico se aumenta la innovación, cuando el precio de un insumo se incrementa, como por ejemplo la energía. En la segunda clase de modelos de crecimiento endógeno, la relación entre el capital y la producción se puede escribir en la forma $Y = AK$, donde A es constante y K es una combinación de capital manufacturado y conocimiento tecnológico “incorpóreo” como una forma de capital. Por lo tanto, el crecimiento económico puede continuar indefinidamente determinado por este capital que abarca una definición muy amplia, ya que la producción no está sujeta a rendimientos decrecientes. Los modelos AK de ahorro se dirigen, ya sea a la acumulación de capital manufacturado, o al aumento de los conocimientos. Sin embargo, los modelos no explicitan las actividades de investigación y desarrollo (I+D). El conocimiento tecnológico tiene dos propiedades especiales. En primer lugar, es un bien no rival, es decir, el stock de esta forma de capital no se agota con el uso. En segundo lugar, genera externalidades positivas en la producción. Mientras que la firma que realiza I+D obtiene beneficios de los conocimientos adquiridos, hay efectos secundarios beneficiosos (*beneficial spillovers*) para la economía provenientes de los procesos de I+D, de modo que los beneficios sociales de la innovación exceden a los beneficios privados del innovador original. Como algunos de los beneficios de la generación de conocimiento son externos a los productores, la tasa de crecimiento de la economía está por debajo del nivel socialmente óptimo. Sin embargo, la economía puede sostener una tasa de crecimiento constante en el que los rendimientos decrecientes del capital manufacturado son exactamente compensados por el efecto externo de creación de conocimiento. La tasa de crecimiento está permanentemente influenciado por la tasa de ahorro; una mayor tasa de ahorro incrementa la tasa de crecimiento de la economía no sólo a su nivel de equilibrio de los ingresos (Perman y Stern, 2001).

El incentivo para dedicar recursos a la innovación resulta de la posibilidad de obtener el monopolio temporal de los beneficios de las innovaciones exitosas. Los modelos de crecimiento schumpeterianos son una tercera clase de modelos de tecnología endógena (Aghion y Howitt, 1998) que explícitamente modelan esta estructura

⁵ El “Aprendizaje en la práctica” se refiere a la capacidad de los trabajadores a mejorar su productividad mediante la repetición periódica del mismo tipo de acción.

de incentivos. Las empresas invierten en I + D con el fin de recibir los beneficios monopólicos. Las innovaciones aparecen estocásticamente y están incorporadas en las nuevas generaciones de bienes de capital y hay una competencia imperfecta en la industria de bienes de capital. La tasa media de crecimiento puede ser demasiado alta o demasiado baja para maximizar el bienestar, ya que hay tanto externalidades positivas y negativas. Existen externalidades positivas para los consumidores que se benefician de la innovación y para los futuros investigadores que se benefician de las ideas del pasado. Hay externalidades negativas, debido a las nuevas innovaciones que convierten a las antiguas en obsoletas. Tanto la acumulación de capital como la innovación determinan la tasa de crecimiento en el largo plazo. La acumulación de capital aumenta los beneficios de la actividad de innovación. Sin embargo, si hay rendimientos decrecientes en el sector de la innovación (como por ejemplo en el caso que la tecnología se convierta en más compleja para su operatividad), la economía podría tener una tasa de crecimiento constante (Aghion y Howitt, 1998).

b. Modelos de crecimiento con recursos naturales y sin cambio tecnológico

Todos los recursos naturales existen en cantidades finitas aunque algunas como la luz solar o el deuterio se encuentran disponibles en cantidades muy grandes. Algunos recursos ambientales son no renovables; y muchos recursos renovables son potencialmente agotables. La finitud y la exhaustividad de los recursos hacen que la noción de crecimiento económico indefinido sea problemático. Incluso el desarrollo sostenible, la no reducción del consumo, puede no ser factible. Cuando hay más de un insumo, tanto de capital y de recursos naturales, hay muchos caminos alternativos que el crecimiento económico puede tomar. El camino elegido está determinado por acuerdos institucionales asumidos. Los analistas han observado en modelos de crecimiento óptimo que pretenden la maximización de la suma del bienestar social de descuento en un horizonte temporal pertinente (a menudo un horizonte infinito) o lograr la sostenibilidad (la no la disminución del bienestar social) pretender representar las economías reales con mercados perfectamente competitivos u otros acuerdos.

La literatura neoclásica sobre el crecimiento y los recursos se centra en condiciones que permiten el crecimiento continuo, o al menos, en el no descenso del consumo o de la utilidad. Las condiciones técnicas e institucionales determinan si la sostenibilidad (definidas como la no reducción del consumo) es posible. Las condiciones técnicas incluyen la combinación de recursos renovables y no renovables, la dotación inicial de capital y de recursos naturales, y la facilidad de sustitución entre los insumos. El marco institucional incluye la estructura de mercado (la competencia frente a la planificación central), el sistema de derechos de propiedad (privada frente común), y el sistema de valores sobre el bienestar de las generaciones futuras.

Solow (1974) demostró que la sostenibilidad es algo realizable en un modelo con recursos naturales finitos y recursos no renovables sin costos de extracción y sin depreciación del capital, que se produce cuando la elasticidad de sustitución entre los dos insumos es la unidad, y se cumplen ciertas condiciones técnicas. La sostenibilidad se produce cuando la utilidad de los individuos tiene el mismo peso y el objetivo es maximizar la suma de las utilidades en el tiempo. De hecho, el crecimiento del consumo

se puede dar de forma indefinida. Sin embargo, el mismo modelo económico bajo competencia arroja como resultado el agotamiento de los recursos, y el consumo y el bienestar social disminuye a cero (Stiglitz, 1974). Dasgupta y Heal (1979) muestran que con cualquier tasa de descuento constante, la trayectoria de crecimiento eficiente también lleva al agotamiento final de los recursos naturales y el colapso de la economía. La sostenibilidad se produce cuando la sociedad invierte en capital suficiente en el tiempo para reemplazar los recursos naturales agotados. La regla de Hartwick (Hartwick, 1977) muestra que si la sostenibilidad es técnicamente posible, un nivel constante de consumo se puede lograr mediante la reinversión de las rentas de los recursos en otras formas de capital, que a su vez pueda sustituir a los recursos. Dixit et al. (1980) amplió la regla a stocks múltiples de capital, mientras que Hartwick (1995) hizo lo propio para las economías abiertas. Es difícil aplicar esta norma en la práctica, ya que las rentas y el capital deben ser valorados a precios sostenibles y compatibles (Asheim, 1994; Asheim et al., 2003; Stern, 1997b) y no sólo a los precios competitivos que existirían si los fallos del mercado (externalidades, ineficiencia intertemporal, etc) se corrigiesen. Más bien estos son los precios que surgirían si se impone la restricción de la sostenibilidad.

Una interpretación común de esta línea de trabajo es que la sustitución y el cambio técnico pueden eficazmente disociar el crecimiento económico de la energía y de otros recursos. El agotamiento que tienen los recursos podría ser reemplazado por sustitutos más abundantes, o por formas "equivalentes" de capital artificial (personas, máquinas, fábricas, etc.). Sin embargo, esta es una interpretación errónea. Como se explicó anteriormente, los economistas neoclásicos están principalmente interesados en las estructuras institucionales y no en las modalidades técnicas, que conducen a la sostenibilidad, por lo que suelen asumir a priori que la sostenibilidad es técnicamente factible y, a continuación investigar lo que los acuerdos institucionales podrían llevar a la sostenibilidad. Solow (1974) y otros expresamente dispusieron de casos en donde la elasticidad de sustitución entre los recursos no renovables y el capital es mayor o menor que la unidad. En el primer caso las posibilidades de sustitución son grandes y por lo tanto la posibilidad de no sostenibilidad no es un problema. En el último caso, la sostenibilidad no es posible si una economía sólo utiliza los recursos no renovables. Por supuesto, donde hay sustentabilidad de los recursos renovables es técnicamente viable, al menos en la ausencia de crecimiento de la población. Sin embargo, hay una tendencia entre los economistas del *mainstream* de asumir que la sostenibilidad es técnicamente viable a menos que se demuestre lo contrario (Solow, 1993, 1997).

c. Modelos de crecimiento con recursos naturales y cambio tecnológico

Además de la sustitución del capital por recursos, el cambio tecnológico podría permitir el crecimiento o, al menos, el consumo constante, frente a una base de recursos finitos. El crecimiento de la productividad total de los factores hace a la sostenibilidad técnicamente más fácil de alcanzar y la sostenibilidad puede ser posible incluso con una elasticidad de sustitución menor a uno. Sin embargo, la viabilidad técnica de nuevo no implica que la sostenibilidad se producirá. Las mejoras tecnológicas implican que la producción por unidad de recursos será mayor en el futuro. Dependiendo de las

preferencias para el consumo actual versus el consumo futuro, el agotamiento actual puede ser considerado más rápido. Este resultado está relacionado con el postulado Khazzoom-Brookes o “efecto rebote”⁶. Como se señaló anteriormente, debido a las externalidades en la producción de conocimiento, hay muy poca innovación en un mundo de crecimiento endógeno. Como resultado de ello, el agotamiento de un recurso no renovable no es óptimo. Pero, como se explica aquí esta tasa podría ser demasiado rápida o demasiado lenta.

Los estudios que examinan el papel de los recursos en los modelos de crecimiento con cambio tecnológico endógeno han sido menos generalistas en sus supuestos respecto a la investigación de los modelos con cambio tecnológico exógeno o aquellos en los cuales no asumen y, además, todavía no ofrece las condiciones necesarias para el logro de la sostenibilidad. En particular, la investigación sobre el crecimiento de los recursos no renovables, en combinación con el cambio tecnológico endógeno ha sido un tanto limitada (Smulders, 1999). Algunos modelos hacen supuestos muy específicos. Por ejemplo, Smulders y de Nooij (2003) asumen que la energía utilizable tiene una tasa de crecimiento positiva, aparte de una posible antigua reducción en el nivel de la misma. Smulders (1999) ofrece un análisis de los primeros trabajos de crecimiento endógeno y Smulders y de Nooij (2003) proporciona referencias a la literatura más reciente.

La mayoría de los resultados en general son proporcionados por Aghion y Howitt (1998) quienes analizan cuatro modelos diferentes, permitiendo determinar el crecimiento sostenido. Dos de los modelos suponen a la contaminación del medio ambiente (puesto que la calidad del medio ambiente es considerada un recurso renovable) y los otros dos restantes, involucran recursos no renovables. Cada conjunto de los dos modelos incluyen esquemas que utilizan los AK y las estructuras schumpeterianas de análisis. Los modelos de recursos renovables requieren recursos que se destinen a la producción de bienes finales para reducir la contaminación, mientras que la calidad del medio ambiente es un argumento de la utilidad. En la versión AK, a largo plazo la tasa de crecimiento no puede ser positiva, a diferencia de los resultados del modelo AK sin recursos. El modelo schumpeteriano puede permitir un crecimiento ilimitado, pero sólo bajo ciertas suposiciones acerca de los parámetros del modelo que parecen extremas para Aghion y Howitt (1998). Los modelos de recursos no renovables asumen que el recurso no renovable es esencial en la producción. El modelo AK de nuevo no puede tener una tasa de crecimiento del consumo positivo a largo plazo. El modelo de Schumpeter con recursos no renovables permite el crecimiento sin límites en el consumo bajo condiciones más débiles que en el modelo con recursos renovables. Esto podría parecer contradictorio, pero proviene del hecho de que los consumidores

⁶ El postulado (Brookes, 1990; Khazzoom, 1980) señala que las innovaciones ahorradoras de energía pueden terminar causando un aumento en el consumo de energía, ya que una vez que se reduce el precio efectivo de los servicios energético, el dinero que se ahorra se gasta en otros bienes y servicios, los cuales requieren más energía en su producción. Esto resulta en un incremento en la demanda por servicios energéticos y por lo tanto por energía, que generan ajustes en el stock de capital en el largo plazo (Stern et al. 2004, p. 21).

en este último caso sólo se preocupan por el consumo. Con recursos renovables que no afecten a la utilidad, el crecimiento continuo parece ser aún más fácil.

Tahvonen y Salo (2001) desarrollan un modelo económico con recursos energéticos renovables y no renovables, que es muy general y más realista que la temprana literatura "neoclásica" (Solow, 1974, etc.) Al igual que Stiglitz (1974) los autores tienen la intención de ver cómo el proceso de crecimiento trabajaría actualmente. Los modelos tienen costos de extracción de los combustibles fósiles y costos de producción de los recursos energéticos renovables, que se incrementan cuando los recursos más baratos son explotados en primer lugar. El modelo también puede ocuparse de situaciones con ningún cambio tecnológico o con cambios tecnológicos exógenos y con algún grado endógeno (*learning by doing*). Se supone que los conocimientos técnicos en la extracción aumentan proporcionalmente a la misma y que los conocimientos técnicos en la producción final son proporcionales al capital social. El desarrollo óptimo de este tipo de economía parece imitar la historia de una manera más eficaz que los modelos neoclásicos. La economía pasa épocas pre-industriales, industriales y post industriales a través de aumentos y disminuciones en la utilización de combustibles fósiles y con acumulaciones de capital. El precio de las energías no renovables disminuye y luego se incrementa. Esto parece ser una plataforma muy prometedora para la investigación futura de crecimiento y sostenibilidad, especialmente si se integra con algunos de los modelos de cambio endógeno discutidos anteriormente.

4. Conclusiones

Resulta fundamental en el siglo XXI establecer las diferencias entre el enfoque neoclásico y la economía como un sistema de energía, puesto que esta última incluye no solo actividades corrientes de producción, sino también la utilización de la energía, dirigiendo la atención hacia los recursos naturales, las acciones de conversión y reconversión de energía y, finalmente, a actividades que utilizan a la misma para producir bienes y servicios. En esta economía, el capital y la mano de obra realizan funciones de apoyo, conversión, dirección y amplificación de la energía para producir bienes y servicios.

Hasta el siglo XVIII, todas las economías derivaban su energía principalmente de fuentes orgánicas. En los dos últimos siglos, hemos visto una transición de las fuentes orgánicas a las inorgánicas, principalmente a los combustibles fósiles.

Los economistas neoclásicos excluyen la energía de la economía, lo que divorcia a esta última respecto a la ecología o a las fuentes de energía. Esto se recoge en el concepto de función de producción, una aplicación matemática de factores - que incluyen únicamente el capital y la mano de obra que depende de la tecnología. Como resultado, la contabilidad de los economistas neoclásicos de crecimiento se presenta en términos de crecimiento de capital, mano de obra y tecnología. La energía no desempeña ningún papel en las historias que narran sobre el crecimiento y las fuentes de crecimiento.

Además, la ausencia de energía en el marco neoclásico hace difícil definir el trabajo y el capital. Estos dos factores, con una visión de la economía como sistema energético,

extraen la energía de fuentes naturales, convirtiendo y reconvirtiendo para su uso en actividades económicas y, a continuación, dirigiendo esos flujos de energía utilizables para la producción y el consumo de bienes y servicios.

La carencia de la energía en la función de producción neoclásica distorsiona el análisis estándar de crecimiento y de las fuentes de crecimiento. El economista neoclásico no reconoce que en muchos casos, el crecimiento significa, simplemente, una aceleración de las actividades; si estas actividades utilizan máquinas, equivale a una aceleración de las máquinas. Esto establece una relación directa entre la energía y el crecimiento, ya que la velocidad depende a menudo del uso de la energía. Lo que esto significa es que el crecimiento en el suministro de energía es una fuente indispensable de crecimiento económico. Asimismo como consecuencia directa del fracaso de reconocer los vínculos entre la energía y crecimiento, no se indaga la relación dinámica entre el mayor consumo de energía y los cambios técnicos que están dirigidos a aprovechar el creciente suministro de energía. Por ejemplo, la introducción de nuevos conversores o transformadores de energía tales como los molinos de agua, de viento, o la máquina de vapor generó un fuerte impulso para la invención de dispositivos que exploten la creciente oferta más barata de energía sustituyendo energía inorgánica por tierra y mano de obra. El marco de la producción neoclásica no ha alentado la exploración de estas relaciones.

El análisis estándar de las fuentes de crecimiento es problemático porque supone que el trabajo es homogéneo. Como se ha visto, el trabajo cumple una doble función: el suministro de energía y el control del flujo de energía. Dado que la proporción en que el trabajador promedio combina estas funciones cambia con el crecimiento económico, no se puede que el trabajo es un factor homogéneo en el contexto de crecimiento. Esto pone en tela de juicio el análisis de las fuentes de crecimiento.

Referencias Bibliográficas

- Aghion, P. y Howitt, P. (1998). *Endogenous Growth Theory*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Alam, S. (2005). *The Economy As An Energy System*. Boston: Northeastern University.
- Arrow, K. J. (1962). The economic implications of learning-by-doing. *Review of Economic Studies*, 29, 155-173.
- Asheim, G. B. (1994). Net national product as an indicator of sustainability. *Scandinavian Journal of Economics*, 96, 257-265.
- Asheim, G. B., Buchholz W. y Withagen C. (2003). The Hartwick rule: myths and facts. *Environmental and Resource Economics*, 25, 129-150.
- Daly, H. E. (1991). Elements of an environmental macroeconomics. En R. Costanza (Ed.), *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability* (pp. 32-46). New York: Columbia University Press.

- D'Arge, R. y Kogiku, K. C. (1973) Economic Growth and the Environment. *Review of Economic Studies*, 40 (1), 61-77.
- _____ (1997). Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz. *Ecological Economics*, 22, 261-266.
- Dasgupta, P. S. y Heal, G. M. (1979). *Economic Theory and Exhaustible Resources*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dixit, A., Hammond P. y Hoel, M. (1980). On Hartwick's Rule for Regular Maximin Paths of Capital Accumulation and Resource Depletion. *Review of Economic Studies*, 47, 551-556.
- Georgescu-Roegen, N (1976). *Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic Essays*. New York: Pergamon Press.
- Hartwick, J. M. (1977). Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources. *American Economic Review*, 66, 972-974.
- _____ (1995). Constant consumption paths in open economies with exhaustible resources. *Review of International Economics*, 3, 275-283.
- Khazzoom, D. J. (1980). Economic implications of mandated efficiency standards for household appliances. *Energy Journal*, 1, 21-39.
- Smulders, S. (1999). Endogenous growth theory and the environment. En J. C. J. M. van den Bergh (Ed.), *Handbook of Environmental and Resource Economics*. (pp 89-108). Cheltenham, U.K.: Edward Elgar.
- Smulders, S. y de Nooij, M. (2003). The impact of energy conservation on technology and economic growth. *Resource and Energy Economics*, 25, 59-79.
- Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70, 65-94.
- _____ (1974). Intergenerational equity and exhaustible resources. *Review of Economic Studies*, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 41, 29-46.
- _____ (1993). An almost practical step toward sustainability. *Resources Policy*, 19, 162-172.
- _____ (1997). Reply: Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz. *Ecological Economics*, 22, 267-268.
- Stern, D. I. (1997b). The capital theory approach to sustainability: a critical appraisal. *Journal of Economic Issues*, 31, 145-173.
- Stiglitz, J. E. (1974). Growth with exhaustible natural resources: the competitive economy. *Review of Economic Studies*, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 41, 139-152.

- Tahvonen, O. y Salo, S. (2001). Economic growth and transitions between renewable and nonrenewable energy resources. *European Economic Review*, 45, 1379-1398.
- Toman, M. (2003). *The Roles of the Environment and Natural Resources in Economic Growth Analysis* (Discussion Papers dp-02-71). Washington: Resources For the Future.
- Toman, M. y Jemelkova, B. (2003). *Energy and Economic Development: An Assessment of the State of Knowledge* (Discussion Papers dp-03-13). Washington: Resources For the Future.
- Wrigley, E. A. (1992). Why poverty was inevitable in traditional societies. En John A. Hall and I.C. Jarvie (Eds.), *Transitions to modernity: Essays on power, wealth and belief* (91-110). Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.