

**ELEMENTOS PARA UNA CRÍTICA A LAS TEORÍAS DEL CRECIMIENTO
ECONÓMICO BASADOS EN LOS CONCEPTOS DE CAPITAL Y CAMBIO
TECNOLÓGICO Y SUS NEXOS CON LOS RECURSOS NATURALES
Y LA ENERGÍA**

CATALINA GRANDA CARVAJAL

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS Y ECONÓMICAS
ESCUELA DE ECONOMÍA
MEDELLÍN
2006**

ELEMENTOS PARA UNA CRÍTICA A LAS TEORÍAS DEL CRECIMIENTO ECONÓMICO
BASADOS EN LOS CONCEPTOS DE CAPITAL Y CAMBIO TECNOLÓGICO Y SUS
NEXOS CON LOS RECURSOS NATURALES
Y LA ENERGÍA

CATALINA GRANDA CARVAJAL

Trabajo para optar al título de
Magíster en Economía

Director
LUIS JAIR GÓMEZ GIRALDO
Profesor Titular

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS Y ECONÓMICAS
ESCUELA DE ECONOMÍA
MEDELLÍN
2006

A Alberto,
el Libertador

AGRADECIMIENTOS

La autora desea expresar sus agradecimientos al profesor Luis Jair Gómez Giraldo, por la toda la paciencia y acompañamiento que manifestó desde el momento en que se comenzó a configurar el objeto de investigación que se aborda en este trabajo hasta la culminación del mismo. También, a los profesores Óscar Gonzalo Manrique Díaz y Luis Guillermo Posada Londoño, porque con sus aportes y enseñanzas le indujeron y colaboraron para llevar a cabo el presente estudio.

Igualmente, agradece a los investigadores Reiner Kümmel, del Instituto de Física Teórica de la Universidad de Würzburg (Alemania), y David I. Stern, de Rensselaer Polytechnic Institute (Estados Unidos), por facilitarle algunas de sus publicaciones y prestarle asesoría a través del correo electrónico en temáticas propias de este trabajo de investigación.

A su familia, madre y hermanos, por la comprensión que tuvieron durante todo el tiempo que tomó elaborar la presente disertación. Similar, y muy especial agradecimiento, merecen todos los amigos que la apoyaron en los momentos difíciles que se presentaron a lo largo de la ejecución de este estudio. Todos ellos ilustran claramente la importancia de la familia y la amistad en la vida de cualquier persona.

CONTENIDO

	Pág.
Introducción	
Capítulo 1. El marco conceptual neoclásico y la teoría de la producción	
Introducción	1
1. La corriente circular y las teorías de la producción y el crecimiento económico	2
2. El intercambio, la escasez y la producción vistas desde la teoría neoclásica	3
2.1. La distribución y la teoría de la producción	8
2.1.1. La teoría de la productividad marginal aplicada a la distribución	9
2.1.2. La productividad marginal y la sustitución de factores	20
Conclusiones y comentarios: la ausencia de una teoría de la producción	24
Capítulo 2. La concepción neoclásica de los factores productivos y sus nexos con los recursos naturales en la teoría de la producción	
Introducción	30
1. La definición de los factores productivos en el pensamiento neoclásico	32
2. El trabajo	34
2.1. Algunas precisiones sobre su carácter económico	34
2.2. Diversas conceptualizaciones: Walras, Böhm-Bawerk	36
2.3. El capital humano y su incidencia en el factor trabajo	38
3. La tierra y los recursos naturales	39
3.1. Ricardo o la tierra como elemento inerte y de capacidad productiva decreciente	40
3.2. La distinción entre la tierra y el capital: la economía neoclásica	41
3.2.1. Los referentes de los fundadores	42
3.2.2. El debate en Estados Unidos	44
3.2.3. Polémica Georgescu-Roegen vs. Solow/Stiglitz	48
4. El capital como síntesis de las relaciones entre los factores en las concepciones sobre la producción y el crecimiento	53

4.1. Los fundadores y los fundamentos de las concepciones y discusiones económicas sobre el capital	54
4.2. La “controversia de Cambridge” sobre teoría del capital y su relación con el entorno natural	65
4.2.1. En torno a la hipótesis de maleabilidad ...	66
4.2.2. El concepto de capital natural y la hipótesis de maleabilidad	70
4.3. Los insolubles vínculos entre la energía y el capital, o la energía como factor de producción	72
5. Sustitución entre factores y esencialidad de los recursos naturales y la energía	75
Conclusiones: los recursos naturales y la energía en la producción y el crecimiento	78
Capítulo 3. El cambio tecnológico: su concepción y sus vínculos con el capital y los recursos naturales en las teorías del crecimiento	
1. Tecnología, invención e innovación: una breve introducción	90
2. La tecnología en la economía neoclásica: de la dispersión conceptual a la confluencia en la explicación del crecimiento	92
2.1. Schumpeter: la innovación y el desenvolvimiento económico	96
2.2. Las teorías del crecimiento económico y el progreso tecnológico	100
2.2.1. El progreso tecnológico exógeno	101
2.2.2. El progreso tecnológico endógeno	106
3. Algunos vínculos entre el cambio tecnológico, el capital y el trabajo: la perspectiva económica	112
3.1. El cambio tecnológico y el “ahorro” de trabajo y capital en Smith y Marx	112
3.2. El cambio tecnológico y el capital	113
3.2.1. La ineficacia de la incorporación	113
3.2.2. Los modelos lineales de la teoría del crecimiento económico, o el conocimiento como capital	115
4. Relaciones entre el cambio tecnológico y los recursos naturales y la energía	118
4.1. Modelos de crecimiento económico con recursos naturales y progreso tecnológico	118
4.2. El sistema de precios, el cambio tecnológico y la esencialidad de los recursos y la energía	123
Síntesis y conclusiones	128

Algunas reflexiones finales	138
Referencias bibliográficas	152

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Flujo circular del ingreso	3
Gráfico 2. Interpretación neoclásica de la teoría ricardiana de la renta	10

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Funciones de producción linealmente homogéneas	172
Anexo 2. La función de producción Cobb-Douglas	177
Anexo 3. El modelo de crecimiento neoclásico de Solow-Swan	185

INTRODUCCIÓN

A fines de la década del cincuenta del siglo pasado, Robert Solow formula el primer modelo de crecimiento conocido en la teoría ortodoxa. Para ello, supone una función de producción homogénea de grado uno, mercados competitivos de factores y que la tecnología cambia a una tasa exógena constante, concluyendo que existe crecimiento económico a largo plazo solamente si hay progreso tecnológico continuo (Solow, 1956).

Estos resultados originaron serios cuestionamientos toda vez que, al asumirse que el cambio tecnológico está determinado por factores extraeconómicos, no se esclarece la naturaleza del mismo, lo que se traduce en que el modelo mencionado deje sin explicar el aspecto de que pretende dar cuenta.

Por tal razón, las teorías del crecimiento endógeno estudian a partir de los años ochenta los determinantes de la tasa de cambio técnico, postulando diversas aproximaciones explicativas en las que se observa como elemento común la existencia de actividades de investigación y desarrollo (I + D) llevadas a cabo por empresas (Sala-i-Martin, 2000).

Durante el tiempo que tuvieron lugar los cuestionamientos señalados, el debate sobre las perspectivas de crecimiento económico ganó terreno. La hipótesis planteada en el Informe para el Club de Roma en 1972, según la cual existen límites biofísicos al crecimiento que lo llevarían eventualmente a su fin, la emergencia del movimiento ambientalista y los *shocks* de los precios globales del petróleo indujeron a los economistas modernos a incorporar los recursos naturales y la contaminación en sus teorías del crecimiento.

Es así como, a principios de la década de 1970, Robert Solow y Joseph Stiglitz formulan una función de producción agregada que sólo toma en cuenta al capital y al trabajo y en la que el capital y los recursos naturales son sustitutos perfectos. Esto suscita la polémica de Nicholas Georgescu-Roegen, quien señala que esta función constituye una

inadecuada representación del proceso productivo toda vez que no considera los recursos naturales y, en ese sentido, tampoco su complementariedad con el capital. Este debate no tuvo respuesta durante más de veinte años (Daly, 1999).

Sin embargo, a fines de los años ochenta Herman Daly retoma la polémica Georgescu-Roegen vs. Solow/Stiglitz y, adicionalmente, argumenta que el concepto de capital enunciado por la teoría tradicional sólo considera objetos hechos por el hombre (por ejemplo, máquinas y edificaciones) e ignora los recursos naturales, proponiendo las categorías capital artificial y capital natural para denotar la incidencia de ambos elementos, respectivamente. Pero esta vez Daly obtiene respuesta de Solow y Stiglitz, quienes arguyen que Georgescu-Roegen y Daly no comprenden algunos conceptos fundamentales del modelo neoclásico, como la diferencia entre sustitutos y complementos y el carácter de largo plazo de los modelos de crecimiento (Solow, 1999a; Stiglitz, 1999).

Ahora bien, cabe considerar que, en el interior de la teoría económica neoclásica, se presentan serias inconsistencias alrededor de la definición de capital. Al respecto, existe una polémica inconclusa en torno al concepto y la medición del capital que fue puesta de relieve durante las décadas del sesenta y setenta del siglo pasado en los debates entre la escuela de Cambridge (Inglaterra) y la escuela de Cambridge (Massachusetts) sobre la teoría del capital (Harcourt y Laing, 1977).

En el mismo sentido, tampoco es clara la relación entre los conceptos de capital y cambio técnico. Al respecto, Dewey (1967, pp. 18-19) indica que el capital es productivo debido al progreso tecnológico en la medida que, dado el continuo incremento del conocimiento, cualquier grupo de activos de capital existente puede utilizarse para constituir un grupo mejor de dichos activos. En contraste, algunos modelos de crecimiento endógeno enfocan el conocimiento tecnológico como una forma de capital que se acumula a través de I + D y otros procesos, dando lugar al cambio técnico. Este tipo de situaciones revelan que, en el interior de la teoría económica dominante, existe una gran confusión alrededor de los nexos entre los conceptos en mención (Daly, 1994, p. 60).

Similarmente, no se observa interés en estudiar las conexiones entre el capital, el cambio tecnológico y los recursos naturales/energía. Sobre este punto, tanto los antiguos como

los más recientes planteamientos sobre el crecimiento económico son cuestionables puesto que sólo tienen en cuenta factores productivos creados por el hombre, ignorando los recursos naturales.

En este sentido, cabe señalar la íntima relación que desde el punto de vista físico se presenta entre el capital y la energía, la cual se evidencia en el hecho de que las máquinas y medios de producción requieran de energía para su operación, lo que hace de ésta un fluido esencial para los procesos productivos y pone de relieve los vínculos de sustituibilidad y complementariedad observados entre los recursos naturales y el capital (humano y manufacturado) (Cleveland y Ruth, 1999, pp. 65-71).

En esta línea argumentativa, otro aspecto que merece destacarse radica en la confusión que se percibe dentro de la teoría neoclásica entre sustitución de recursos y/o factores y cambio técnico (Daly, 1994, p. 59). Esta cuestión adquiere relevancia en relación con el optimismo de los economistas tradicionales en torno a un avance tecnológico que logre subsanar la escasez de recursos naturales y energéticos que se avizora en el futuro.

La elucidación y resolución de las anteriores inconsistencias y cuestionamientos motivan el presente trabajo. En éste se considera que un estudio histórico y conceptualmente exhaustivo de las categorías y supuestos claves –entre ellos, las relaciones esbozadas arriba– de las teorías de la producción y el crecimiento económico, así como del tratamiento de los recursos naturales y la energía, puede aportar elementos para definir de un modo más preciso y completo el capital y el cambio tecnológico y, por ende, para una reformulación de la teoría del crecimiento.

Es así que este trabajo pretende contribuir a un análisis crítico de las teorías ortodoxas del crecimiento económico, al igual que de la logicidad que les subyace, atendiendo a las interconexiones entre los conceptos de cambio tecnológico, capital y recursos naturales (materia y energía).

Con este propósito, se estudian los diferentes debates que se han gestado en el marco de la economía convencional alrededor de la definición de los factores productivos teniendo

en cuenta criterios tales como la unicidad conceptual (¿cuántos conceptos de cada una de las categorías existen?), la relación de la(s) definición(es) con los recursos naturales y la consistencia de estas definiciones y relaciones con la función de producción agregada neoclásica.

En ese sentido, en este estudio se recogen elementos de análisis y posturas propias de la discusión económica, pero también de una mirada biofísica que toma en consideración las implicaciones de las leyes de la termodinámica. Luego, la producción y el crecimiento se conciben tanto en una dimensión física como en una dimensión económica (de valor). Estos fenómenos constituyen procesos de transformación de materia y energía orientados a la provisión de bienestar y en los que debe mantenerse el balance de masa aun cuando la entropía acuse incrementos constantes.

Cabe resaltar asimismo que la naturaleza posee varias funciones que involucran no sólo las actividades de producción sino también el sostenimiento de la vida y el bienestar y que redundan en múltiples vínculos de interdependencia entre el sistema natural y la economía. Sin embargo, en este trabajo sólo se va a abordar la naturaleza en su función de fuente de recursos; con ello, se dejan a un lado los aspectos relacionados con la absorción de residuos y contaminación –que muchos economistas abarcan con el término “medio ambiente”–, el mantenimiento de los ecosistemas y los servicios de amenidad.

El presente estudio está conformado por tres capítulos y unas reflexiones finales. En el primer capítulo se intenta demostrar que la corriente económica neoclásica no se ocupa de la producción como un proceso de transformación material y energética, sino como un aspecto del intercambio de factores productivos “primarios”, por lo que no ha elaborado una teoría de la producción como tal.

El capítulo segundo aborda el desenvolvimiento conceptual de cada uno de los factores productivos en el pensamiento económico dominante, enfatizando en los nexos entre estos factores y los recursos naturales y la energía en el marco de la función de producción neoclásica. En el último capítulo se analizan las teorías contemporáneas más

importantes del crecimiento con el objeto de dilucidar las concepciones económicas sobre el cambio tecnológico y las relaciones de éste con el capital y los recursos naturales.

Con base en las consideraciones hechas en los distintos capítulos, se enuncian unas reflexiones finales. Estas reflexiones constituyen elementos para una crítica coherente a las teorías ortodoxas del crecimiento económico, pero también a algunos conceptos propios de la economía ecológica (e.g., capital natural). Similarmente, se plantean algunas sugerencias tendientes a una conceptualización del crecimiento que contemple los estudios y cuestionamientos realizados a lo largo del trabajo.

CAPÍTULO 1.

EL MARCO CONCEPTUAL NEOCLÁSICO Y LA TEORÍA DE LA PRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La mayoría de las teorías del crecimiento parten de una noción según la cual éste es una expansión de las actividades productivas, esto es, un aumento sostenido de la producción, en el entendido de que existe una correspondencia estricta entre el bienestar de los hombres y el consumo que hacen de tal producción.

Estas teorías obedecen a una visión de acuerdo con la cual la producción y el consumo constituyen un sistema cerrado conformado por humanos que se relacionan mediante flujos de bienes y de dinero. Esta visión es posible en virtud de la coordinación y organización de la actividad económica que se lleva a cabo en el seno del mercado, el mecanismo que aglutina los intercambios.

Similarmente, la noción de escasez desempeña un papel fundamental en dicha visión al erigirse como el criterio para demarcar los límites de *lo económico*. Según esta noción, la materia y la energía no están circunscritas a estos límites y, por ende, el sistema económico no involucra relaciones con el medio físico.

Así las cosas, la teoría económica neoclásica (walrasiana) posee como marco conceptual el mecanismo de mercado y la noción de escasez; consiguientemente, los postulados sobre la producción y el crecimiento que se insertan dentro de dicha teoría se ciñen a este marco y emplean el lenguaje matemático mediante la formulación de funciones de producción.

Teniendo en cuenta lo anterior, en este capítulo se intenta demostrar que no existe como tal en la corriente económica dominante una teoría de la producción en tanto esta corriente no se ocupa de la producción como un proceso de transformación material y

energética, sino como un aspecto de las transacciones de factores productivos “primarios” que se consideran escasos.

En aras de este propósito, el capítulo se divide en tres partes. En la primera sección, se explica brevemente la visión de la actividad económica subyacente en la teoría neoclásica y, por ende, en sus teorías de la producción y el crecimiento.

En el segundo apartado, se indica que el objeto de la economía es el intercambio al igual que el rol que en este objeto desempeña la noción de escasez; con base en estos fundamentos, se ilustra cómo la teoría económica ha concebido la producción. Para ello, se aborda el principio de la productividad marginal así como la interpretación que sobre la distribución, la producción y las posibilidades de sustitución entre factores éste sustenta.

Todo esto se hace partiendo de los pensadores, vertientes y discusiones internas más relevantes en la historia de la configuración de la corriente económica dominante. De esta manera, se muestra la identificación implícita que desde el punto de vista teórico-metodológico efectúa la escuela neoclásica entre la producción y la distribución, la cual se evidencia en el supuesto *ceteris paribus* y las formas funcionales de la producción, y que permite colegir que ambos fenómenos se subordinan al intercambio.

Finalmente, se esbozan algunas conclusiones y comentarios críticos en los que se resalta que la economía, al centrar su objeto en el intercambio, excluye de su visión de la actividad económica al medio físico y, por tanto, elimina de su estudio a la producción en tanto proceso de transformación de materia y energía.

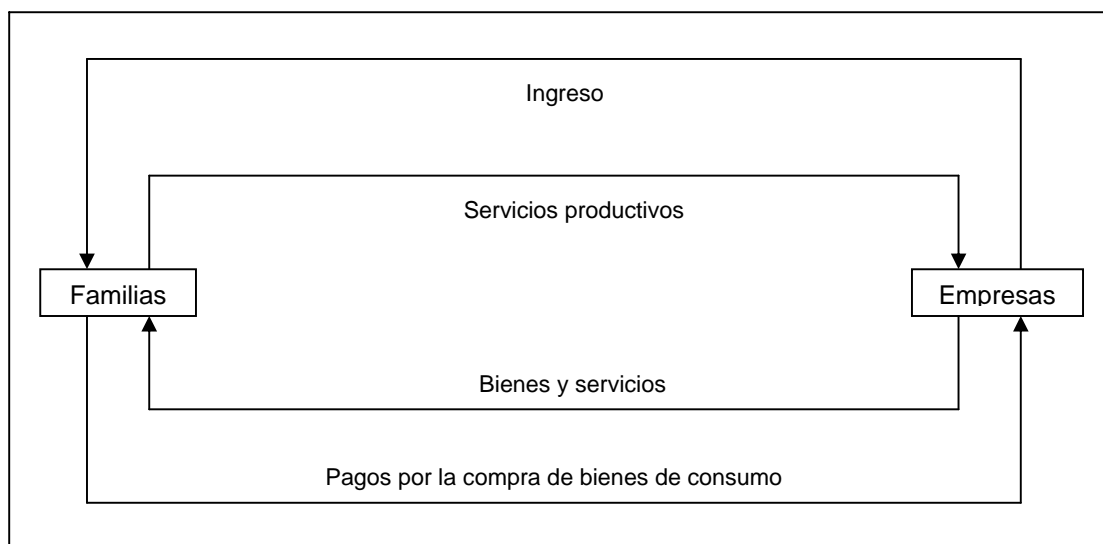
1. LA CORRIENTE CIRCULAR Y LAS TEORÍAS DE LA PRODUCCIÓN Y EL CRECIMIENTO ECONÓMICO

Las teorías del crecimiento económico parten de una noción de acuerdo con la cual éste es una expansión de las actividades productivas, es decir, un aumento sostenido de la

producción, en el entendido de que existe una correspondencia estricta entre el bienestar humano y el consumo que los hombres hacen de dicha producción¹.

Teniendo en cuenta lo anterior, la mayoría de los modelos de crecimiento formulados a partir del siglo XX tienen una estructura de *equilibrio general*², la cual se representa en el típico esquema del flujo circular del ingreso con el que los economistas describen el sistema económico y que se muestra a continuación.

Gráfico 1. Flujo Circular del Ingreso



Este esquema ilustra la actividad económica como compuesta por dos instancias o agentes: de un lado, las familias (a la izquierda), que poseen el trabajo y los activos de la economía –incluyendo los derechos de propiedad sobre las empresas– y escogen las porciones de su ingreso que consumen y ahorran; de otro, las empresas (a la derecha), que contratan los factores productivos con las familias y los combinan –con arreglo a una tecnología– para producir bienes que luego venden a los hogares o a otras firmas.

¹ En tal sentido, puede decirse que estas teorías abogan implícitamente por la ley de Say toda vez que asumen que la totalidad de la expansión económica resultante del crecimiento es absorbida por la demanda mediante el consumo presente o en el futuro (entendiéndose esto último como ahorro e inversión).

² Como se verá posteriormente, las diferencias entre modelos de crecimiento estriban en las características de la función de producción y de la capacidad de generación de cambio tecnológico, así como en si se introducen instituciones relacionadas con el Estado y/o las finanzas internacionales (Sala-i-Martin, 2000, p. 10).

Obsérvese que en este esquema la producción se concibe como la utilización de los factores productivos con el objeto de generar bienes o servicios que prestan alguna utilidad a las personas; asimismo, el consumo consiste en el uso de esos bienes o servicios para la satisfacción de las necesidades y deseos humanos. Estas dos actividades son interdependientes, ya que la producción no puede realizarse sin el empleo de los factores productivos existentes ni el consumo puede llevarse a cabo sin la producción de las empresas (Lora y Steiner, 1994, p. 3).

Tal interdependencia se hace efectiva a través de los mercados y el dinero, los cuales vinculan las dos actividades mencionadas. En los mercados, las firmas venden bienes a las familias o a otras empresas y los hogares venden los insumos a las firmas, de modo que la igualdad entre las cantidades demandadas y ofrecidas determina los precios (relativos) de los factores y de los bienes producidos³. Sin embargo, estas transacciones no se dan en forma directa, intercambiando recursos productivos por bienes de consumo, sino en forma indirecta a través del dinero, constituyéndose éste en el medio que facilita la circulación de mercancías.

Así las cosas, el esquema del flujo circular del ingreso constituye una representación del sistema económico según la cual éste es cerrado y en la que la producción fluye de manera circular, auto-alimentadora (*self-feeding*) y auto-renovadora (*self-renewing*) (Heilbroner y Thurow, 1981, citado en Cleveland *et al.*, 1984, p. 892)⁴.

2. EL INTERCAMBIO, LA ESCASEZ Y LA PRODUCCIÓN VISTAS DESDE LA TEORÍA NEOCLÁSICA

En la medida que el mercado relaciona la producción (oferta) y el consumo (demanda), actúa como un mecanismo de coordinación y organización de la actividad económica que asigna recursos y, como resultado, emite señales de asignación: los precios. En ese

³ Ciertamente, esta representación de la vida económica se corresponde con la denominada por Schumpeter (1957) "corriente circular", una construcción teórica y expositiva que se caracteriza por la repetición indefinida, estática y en condiciones de libre competencia.

⁴ No sobra resaltar que esta representación se corresponde con el paradigma epistemológico al que dio lugar la mecánica clásica y al que la economía neoclásica se aferró desde sus inicios (Naredo, 1996; Georgescu-Roegen, 1996; Sollner, 1999).

mismo sentido, el mercado constituye el ordenamiento institucional (reglas, procedimientos, lugares) para la realización de los intercambios⁵.

Al respecto, la teoría económica neoclásica se ocupa de representar la estructura y el mecanismo anteriormente referidos, a los que denomina sociedad de mercado o sociedad en la que se realizan intercambios de mercancías y a los que, como ya se ha señalado, concibe como una articulación de mercados. Al respecto, Lionel Robbins puntualiza que

el análisis económico es más útil en una economía de cambio⁶.

En dicha representación, este enfoque teórico le otorga a la noción de escasez un papel crucial al erigirla como criterio para demarcar los límites de *lo económico*, tal como lo pone de presente la definición de economía del autor anteriormente citado, hoy en día una de las más conocidas y divulgadas.

La Economía es la ciencia que estudia la conducta humana como una relación entre fines y medios limitados que tienen diversa aplicación⁷.

Las relaciones de cambio son un incidente *técnico* ... pero que, a pesar de ello, es subsidiario del hecho fundamental de la escasez⁸.

Sin embargo, Robbins (1944, p. 74) advierte que la condición de escasez de los bienes no es absoluta, sino que es relativa en tanto se refiere a una limitación con respecto a la demanda. Esta concepción se remonta a la disertación walrasiana, que relaciona la disponibilidad de un bien con la necesidad (o deseo) que se tiene del mismo y que se sintetiza en lo que hoy se denomina "utilidad marginal"⁹. Dicha concepción contrasta con

⁵ Para la economía clásica y neoclásica, el mercado se concibe atendiendo a la primera noción; empero, la economía institucional, al explicitar la naturaleza del mercado, ha hecho un importante aporte a ella.

⁶ Robbins, Lionel. *Ensayo sobre la Naturaleza y Significación de la Ciencia Económica*. Traducción de Daniel Cosío Villegas. México: Fondo de Cultura Económica, 1944, p. 40.

⁷ Robbins, Lionel. *Ibid.*, p. 39.

⁸ Robbins, Lionel. *Ibid.*, p. 43.

⁹ No sobra destacar que esta definición de escasez es subjetiva pues, en la medida en que la acepción de *necesidad* –sobre la cual hace reposar Walras la noción de *utilidad*– reviste una amplia connotación psicológica, la imprecisión de "lo útil" arrastra consigo la imprecisión de lo escaso.

la escasez entendida en términos físicos, que alude a las cantidades disponibles de un recurso concreto en el entorno accesible del hombre (Naredo, 1996, caps. 15 y 17).

Walras considera la economía como la ciencia de la riqueza y, por tal razón, delimita el objeto de la ciencia económica por intermediación de la definición de riqueza (Naredo, 1996, p. 202). Es así como este autor denomina riqueza social al conjunto de todas las cosas materiales o inmateriales que son escasas, es decir, que son *útiles y limitadas en cantidad*. Estas dos propiedades características de la riqueza social implican que las cosas escasas se hacen *apropiables, valiosas e intercambiables, e industrialmente producibles o multiplicables* (Walras, 1987, lección 3ª).

En ese sentido, Walras (1987, pp. 164-165) señala que la industria es "... el conjunto de relaciones entre personas y cosas dirigidas a subordinar el fin de las últimas al de las primeras" con miras a la multiplicación y transformación de la riqueza social. Esta finalidad es perseguida por el hombre a través de operaciones *técnicas*, o de la industria propiamente dichas, y operaciones relativas a la organización *económica* de la industria.

Al respecto, el francés postula la existencia de una *economía política pura*, o teoría del valor de cambio y del intercambio o teoría de la riqueza social, y una *economía política aplicada*, o teoría de la producción económica de la riqueza social. De acuerdo con este autor, la primera es el fundamento de la segunda y constituye una ciencia semejante a las ciencias físico-matemáticas toda vez que el valor de cambio es un fenómeno natural de las mercancías al igual que una magnitud mensurable; por tal razón, la economía política pura puede emplear el método racional y el lenguaje matemático (Walras, 1987, pp. 160-163, 168).

Walras expuso lógicamente y formalizó que los intercambios realizados en un mercado libre, transparente y perfecto arrojan el mejor resultado para el conjunto de la sociedad en la medida que maximizan la utilidad de los individuos y, por agregación, la utilidad social. Esta construcción teórica en el campo de la *economía política pura* condujo a establecer como base de la *economía política aplicada* la noción según la cual la libre competencia es la regla general de la producción de la riqueza (Naredo, 1996, p. 213).

De esta manera, este autor remite o subordina el tratamiento teórico de la producción al del intercambio, justificando con ello adicionalmente el uso del lenguaje matemático para abordar el objeto de la economía aplicada y, en consecuencia, la formulación de funciones que representen los procesos productivos¹⁰.

A este respecto, es importante tener en cuenta que Walras (1987) entiende el problema de la producción (en un contexto estático) como una extensión del enfoque del intercambio para considerar el hecho de que los productos resultan de la combinación de servicios productivos –*servicios de las personas o trabajo, servicios de la tierra y servicios del capital*. En efecto, la elucidación que el francés hace de este tópico estriba en la conexión de los mercados de productos y los mercados de servicios productivos, en una interpretación del esquema del flujo circular antes mencionado; de este modo, este autor determina los precios de los servicios productivos y, por consiguiente, deriva de la teoría del intercambio su teoría de la producción.

Este tratamiento sintetiza la concepción neoclásica del problema de la distribución o determinación de los ingresos de los agentes económicos (salarios, rentas, “intereses” y “beneficios”), el cual es dilucidado como un problema de determinación de precios en el que las remuneraciones de los propietarios de los recursos productivos están regidas exclusivamente por las leyes del mercado (Bolaños C., 1994, p. 39). En tal sentido, cabe subrayar los estrechos vínculos entre la distribución y la producción que los economistas neoclásicos establecen¹¹, los cuales se tendrá ocasión de abordar enseguida, y que

¹⁰ Paradójicamente, Walras señala que no es posible formular funciones precisas que caractericen la producción, como se colige del texto de una carta enviada el 15 de octubre de 1872 (reproducida en Segura, 1987, p. 54, nota 42): “No llamo P a los productos. No designo por F los factores de producción. No formulo $P = F^N$. He aquí por qué: en matemáticas sólo se emplean en las ecuaciones *cantidades*, es decir, magnitudes apreciables expresadas en términos de sus respectivas unidades ... vuestra ecuación $P = F^N$. No es ni buena ni mala; no es ni siquiera susceptible de enunciación”.

¹¹ Dichos vínculos fueron elucidados de modo intuitivo (informal) por Polanyi, a juzgar por la siguiente cita: “Una economía de mercado es un sistema económico regido, regulado y orientado únicamente por los mercados. La tarea de asegurar el orden en la producción y la distribución de bienes es confiada a ese mecanismo autorregulador. Lo que se espera es que los seres humanos se comporten de modo que pretendan ganar el máximo dinero posible: tal es el origen de una economía de este tipo. Dicha economía implica la existencia de mercados en los que la oferta de bienes disponibles (comprendidos los servicios) a un precio determinado será equivalente a una demanda de igual precio; supone la presencia del dinero que funciona como poder adquisitivo en las manos de quien lo posee. La producción se regirá, pues, por los precios, ya que de los precios dependen los beneficios de quienes orientan la producción; y también la distribución de bienes dependerá de los precios, pues los precios conforman los ingresos, y gracias a ellos los bienes producidos son distribuidos entre los miembros de la sociedad. Si se admiten estas hipótesis, tanto la producción como la distribución de los bienes quedan aseguradas únicamente por los precios”. Polanyi, Karl.

denotan en estos una visión del proceso de producción como un aspecto de la asignación y fijación de precios de los factores productivos “primarios” (Christensen, 1989, pp. 18-19).

2.1. LA DISTRIBUCIÓN Y LA TEORÍA DE LA PRODUCCIÓN

La producción posee en la economía neoclásica una connotación “tecnológica” que permite definirla en términos de combinaciones de cantidades de factores productivos (objetos y trabajo. Véase capítulo 3) e, incluso, ampliar su campo de aplicación para considerar la producción en un sentido global. Según Schumpeter,

Producir significa, lo mismo desde el punto de vista tecnológico que económico, combinar las cosas y fuerzas a nuestro alcance. Todo método de producción significa una combinación definida. Los métodos distintos de producción sólo pueden diferenciarse por la forma de la combinación; o sea por los objetos combinados, o la relación entre sus cantidades respectivas... Este concepto puede extenderse ... a todo aquello que sea producción en su sentido más amplio. Consideraremos también a una empresa como tal, y a las combinaciones productivas del sistema económico total, como ‘combinaciones’¹².

No obstante, cabe recordar que la corriente neoclásica subsume la producción a la lógica mercantil, de ahí que el análisis de aquella sea entendido como una extensión de la órbita del intercambio para determinar el valor de los servicios productivos y no como una teorización acerca de una relación técnica. Es en este sentido, asimismo, como puede comprenderse el crucial papel que juegan los precios de los factores productivos en la selección de los métodos y/o las cantidades de insumos a emplear en el proceso de producción.

Con base en las consideraciones anteriores, amén de otras de origen también walrasiano, esta corriente de pensamiento económico aborda la producción utilizando el lenguaje matemático evidente en la formulación de funciones de la siguiente forma:

La Gran Transformación. Crítica del liberalismo económico. Traducción de Julia Varela y Fernando Álvarez-Uría. Madrid: La Piqueta, 1989, p. 122.

¹² Schumpeter, Joseph A. *Teoría del desenvolvimiento económico. Una investigación sobre ganancias, capital, interés y ciclo económico.* Traducción de Jesús Prados Arrarte. México: Fondo de Cultura Económica, 1957, pp. 27-28.

$$Y(t) = F[K(t), L(t), T(t), A(t)] \quad (1.1)$$

donde $Y(t)$ es el producto elaborado en el periodo t ; $K(t)$ representa el capital; $L(t)$ conforma el trabajo; $T(t)$ es la tierra, y $A(t)$ consiste en el conocimiento o tecnología, el cual indica las combinaciones posibles de trabajo y capital en la producción¹³.

2.1.1. La teoría de la productividad marginal aplicada a la distribución

De acuerdo con los planteamientos anteriores, la producción se obtiene de una combinación de varios *factores* diferenciables técnicamente –pero no económicamente– que participan en este proceso, recibiendo cada uno parte del producto elaborado según la aportación efectuada y por la misma razón que lo recibe otro cualquiera (Napoleoni, 1982).

Atendiendo a estas premisas, Clark (1891, 1899) enuncia el concepto de *productividad marginal* mediante un intento de generalización de la teoría ricardiana de la renta de la tierra al capital y el trabajo¹⁴. Según este principio, a medida que aumenta un factor, permaneciendo constantes todos los otros factores, éste hace una contribución positiva pero cada vez menor a la producción, siendo el último incremento el que determina su remuneración.

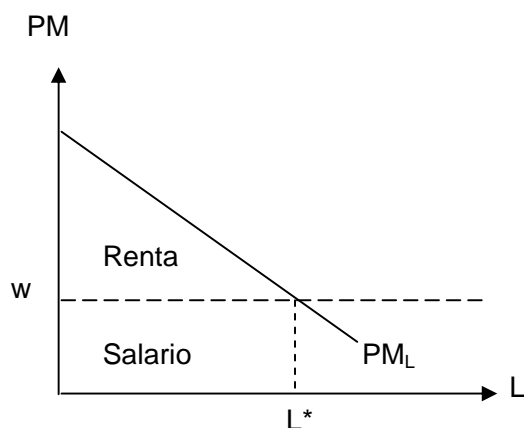
En el Gráfico 2 se ilustra la interpretación que hace este autor de la teoría de la renta de Ricardo. En ella, se asumen sólo dos factores de producción: el trabajo (L), un factor variable, y la tierra (T), de naturaleza fija. El eje de las abscisas mide las sucesivas cantidades de trabajo aplicadas a una cantidad fija de tierra y el de las ordenadas la

¹³ Obsérvese que la noción de producción subyacente en esta expresión matemática corresponde a un proceso lógico, por lo que el tiempo (t) asociado a la definición de cada una de las variables se concibe como *ergódico* o carente de significado intrínseco. En virtud de esta consideración, el tiempo se omite usualmente de las representaciones de la producción –como en algunas de las que se exhibirán en los próximos capítulos– y, por ende, el fenómeno aludido se analiza en términos estáticos, estudiándose la relación entre los factores y el producto bajo el supuesto de que no hay variaciones temporales.

¹⁴ Anteriormente, J. H. von Thünen (*The Isolated State*, 1850) había expuesto este principio en relación con el trabajo; asimismo, en lo que concierne al origen de la renta en su sentido más estricto, la explicación de este autor coincide completamente con la teoría de Ricardo. Es, empero, Clark (1891, 1899) quien aplica el planteamiento ricardiano a todos los factores de producción y no sólo a la tierra.

producción adicional obtenida a partir de tal aplicación. La curva PM_L representa la productividad marginal del trabajo.

Gráfico 2. Interpretación neoclásica de la teoría ricardiana de la renta



Para una cantidad dada de tierra, mientras mayor trabajo se aplique, menor será el producto adicional obtenido, lo que se representa en la tendencia decreciente (pendiente negativa) de la curva PM_L . Así, el producto derivado del empleo creciente de trabajo en una tierra fija determina el salario que recibe cada trabajador, correspondiéndole al propietario de la tierra la diferencia de producto obtenida entre las primeras utilidades de trabajo y la última.

Clark parte de la idea de que el capital y el trabajo son análogos a la tierra en el sentido de que, si se supone que ésta varía y aquellos permanecen fijos, se generará indistintamente una renta y, por ende, el factor variable deberá emplearse hasta que su remuneración por unidad sea igual a su producto marginal. En consecuencia, todos los ingresos se obtienen únicamente con arreglo al principio de la productividad marginal de los factores y, por lo tanto, ninguno se determina como residuo (Clark, 1899, ch. XIII).

Sin embargo, con esta supuesta analogía se adopta una visión de acuerdo con la cual cada factor efectúa individualmente un aporte a la producción que es independiente del de los otros insumos. Esta visión se discutirá más adelante.

Así las cosas, la teoría neoclásica de la distribución se identifica con la teoría de la productividad marginal y, por tal razón, se la ha denominado *teoría de la productividad marginal aplicada a la distribución*.

Cabe resaltar que el principio de la productividad marginal supone simultáneamente que tanto los mercados de productos como de factores son perfectamente competitivos, lo que se refleja en la igualdad entre la remuneración de cada factor y el producto adicional atribuible a la última unidad utilizada de éste¹⁵. En tal sentido, Wicksell (1947, pp. 101-102) estudia las implicaciones de tal suposición y afirma que debido a ella se configura una situación de pleno empleo de todos los factores¹⁶, una característica del equilibrio macroeconómico neoclásico.

Asimismo, y aun cuando el mismo Clark (1891, 1899) reconoce que la idea subyacente a dicho principio –la incorporación sucesiva de unidades adicionales de un factor en la producción– comporta cierta dinámica, vale subrayar que el principio de la productividad marginal esbozado es eminentemente estático.

Partiendo de los conceptos y elementos señalados, Clark (1891, 1899) demuestra de manera discursiva que, cuando cada factor es remunerado a una tasa determinada por su productividad marginal, la suma de los ingresos de los factores absorbe el producto total y, por ende, no queda ningún remanente¹⁷.

Esta proposición, que se conoce como *teorema de agotamiento del producto*, fue demostrada matemáticamente por Wicksteed (1894) tomando como punto de partida una

¹⁵ Sin embargo, Clark (1899) reconoce la existencia de fricciones y obstáculos que inciden en que los resultados competitivos se presenten con poca frecuencia. En tales casos, señala este autor, la competencia provoca que la remuneración al factor en cuestión *gravite* hacia el producto marginal respectivo.

¹⁶ “Al mismo tiempo se puede suponer que, debido a la competencia, este producto marginal será idéntico en todas las ramas de la producción, ya sea en sentido *físico*, únicamente cuando una mercancía o grupo de mercancías (...) se produce en todas las empresas, o bien si se producen simultáneamente diversas clases de mercancías a determinados precios, pues entonces los valores de los productos marginales tendrán que ser iguales. Teóricamente, toda la mano de obra disponible en el mercado *hallará precisamente empleo* a dicho salario”. Wicksell, Knut. *Lecciones de Economía Política*. Traducción de Francisco Sánchez Ramos. Madrid: Aguilar, 1947, pp. 101-102.

¹⁷ Con todo, este autor aclara que, en caso de quedar algún remanente, éste le correspondería al empresario (*entrepreneur*) como ganancia.

función de producción linealmente homogénea, característica que señaló como necesaria para que dicha teoría se cumpliera.

Vale la pena resaltar sobre la disertación de Wicksteed que en ella se introdujo por primera vez no sólo la función de producción homogénea lineal sino, en general, los conceptos de función de producción y productividad marginal tal como se han empleado en la teoría económica (especialmente, desde mediados del siglo XX) para representar el proceso productivo¹⁸. A juicio de algunos autores, tal formulación obedece al intento de mejorar el tratamiento walrasiano de la producción¹⁹ (Georgescu-Roegen, 1996, p. 300; Naredo, 1996, p. 291).

A continuación, se sintetiza en lenguaje matemático la exposición de Wicksteed del teorema de agotamiento del producto²⁰:

Sea Q el producto, L el factor tierra y K el factor capital-más-trabajo (que toma en cuenta los factores distintos de la tierra); luego, si:

- i) La función de producción presenta rendimientos constantes de escala, es decir, que si $Q = F(L, K)$ entonces se tiene que $mQ = F(mL, mK)$
- ii) Es posible y justificado expresar un agregado perfectamente heterogéneo de factores de producción en términos de una sola unidad: el dinero²¹

Entonces se tiene que

¹⁸ Respecto a la función de producción, Wicksteed la presenta de la siguiente manera: "The Product being a function of the factors of production we have $P=f(a, b, c, \dots)$." Wicksteed, Philip H. *An Essay on the Co-ordination of the Laws of Distribution*. 1894, p. 4.

En cuanto a la productividad marginal, este autor se refiere en los términos: "... the marginal efficiency or significance ... of each factor is determined by the effect upon the product of a small increment of that factor, all the others remaining constant", procediendo a continuación a simbolizarla en relación con un bien o servicio cualquiera K como la derivada parcial del producto respecto de dicho bien o servicio (pp. 8-9).

¹⁹ Véase nota 10.

²⁰ La notación empleada aquí difiere de la utilizada por Wicksteed (véase la nota 18) y en la ecuación (1.1); empero, ello no modifica de manera sustancial los enunciados que se pretenden subrayar. A este respecto, en el Anexo 1 (Propiedad 3) se esboza el planteamiento general y comúnmente difundido de este teorema y se profundiza en su interpretación e implicaciones económicas.

²¹ Wicksteed plantea que el ámbito de aplicación de esta condición se refiere a factores distintos de la tierra y, pese al supuesto señalado, resalta para efectos analíticos el carácter material de dichos factores.

$$Q = \frac{\partial Q}{\partial L} L + \frac{\partial Q}{\partial K} K \quad (1.2)$$

(Wicksteed, 1894).

Cabe subrayar la importancia que para la ley de la distribución esbozada, que comúnmente se la considera expresada por el teorema de Euler para funciones homogéneas²², tiene la precondition de que tanto los mercados de factores como de productos sean perfectamente competitivos, ya que sin este supuesto implícito la función de producción no presentaría rendimientos constantes de escala. Según Wicksteed (1894, p. 35), las situaciones monopolísticas, en las que los empresarios obtienen ganancias positivas, son incongruentes con este tipo de rendimientos.

Asimismo, y en relación con esta última condición, este autor plantea que todas las funciones de producción de las que se ocupa la teoría presentan rendimientos constantes de escala y afirma tentativamente que todos los procesos productivos de la realidad observable tienen esta característica. Una posible explicación de ello es que el teorema de Euler equivale a decir que bajo rendimientos constantes a escala, si a cada factor se le retribuye por el valor de su producto marginal, el beneficio económico será nulo, una situación descriptiva del equilibrio competitivo a largo plazo, lo que habría hecho pensar a Wicksteed que sólo las funciones de producción homogéneas de grado uno tienen sentido en economía²³.

Otra posible interpretación emana del énfasis que pone este autor en que se deben considerar como factores separados cada tipo y calidad de tierra, trabajo y capital (en sus

²² Flux (1894, p. 311) identificó que la teoría de la distribución enunciada por Wicksteed se constituye en la ecuación de Euler aplicada a una función homogénea de grado uno en los factores productivos. De otro lado, Wicksell (1947, p. 115) enfatiza tácita y ciertamente en la afirmación de Flux al señalar que (1.2) constituye una ecuación diferencial parcial cuya solución general es la integral $Q = L f(K / L)$ tal que Q es homogénea lineal en L y K .

²³ Evidentemente, éste no es el caso. Para más detalles sobre esta posible explicación, así como los elementos teóricos que refutan la afirmación de Wicksteed, se sugiere ver el Anexo 1.

propias unidades) que puede distinguirse de otros tipos y calidades²⁴ –y no sólo la tierra, el trabajo y el capital de manera burda– ya que, de esta manera, es obvio que, si se incrementaran equiproporcionalmente cada uno de los factores de producción, entonces el producto aumentaría en la misma proporción (Wicksteed, 1894, p. 33).

Sin embargo, dicho énfasis se contradice con la condición de agregación del capital-más-trabajo en términos de dinero mencionada anteriormente toda vez que comporta tomar tales factores en unidades físicas²⁵. Esta contradicción fue ciertamente puesta de presente por Walras (1894), quien critica al autor en cuestión porque emplea de manera deliberadamente ambigua la notación del teorema de agotamiento del producto, de modo que le permite interpretar el producto (Q en (1.2)) a conveniencia en términos de cantidades (“producto físico”) o de valores (“producto comercial”).

Adicionalmente, Flux (1894, p. 311) intenta conciliar, en su disquisición acerca del planteamiento de Wicksteed, el supuesto teórico de rendimientos constantes a escala con la realidad habida cuenta de las dificultades que entraña el cumplimiento estricto de las condiciones señaladas, máxime porque el estado observable de cada factor de producción en un determinado momento es *único*. Para ello, este autor efectúa una sagaz aproximación del factor m de la condición i) del teorema de Euler a valores cercanos a la unidad. No obstante, este intento resulta ser una expresión más de las contradicciones internas de la teoría de la productividad marginal aplicada a la distribución pues, si cada unidad de cada factor es única, entonces el concepto de productividad marginal no tiene significado alguno.

En cualquier caso, es pertinente señalar que la afirmación de Wicksteed resulta excesivamente reduccionista respecto de la realidad observable en tanto que pretende forzar la diversidad de procesos productivos a adaptarse a una sola característica, al parecer con el único propósito de procurarle validez a su teoría, e ignora las múltiples

²⁴ A este respecto, dicho autor plantea que en la producción confluyen tanto factores materiales (por ejemplo, hombres, suelos, distintos tipos de máquinas, etc.) como inmateriales (*good will*, capacidad administrativa, viajes, etc.) que deben tenerse en cuenta.

²⁵ Alternativamente, Ayres (2001, p. 818, footnote 2) nota que el requerimiento de rendimientos constantes a escala se justifica fácilmente cuando los factores de producción son medidos en unidades monetarias ya que significa simplemente que doblar el precio de los insumos duplica el valor del producto; en contraste, dicho requerimiento es problemático cuando los factores son medidos en términos físicos.

particularidades inherentes a los procesos de producción, entre las que se encuentran su sujeción a las leyes de la termodinámica.

Como se ha dicho, desde mediados del siglo pasado los economistas han empleado generalizadamente la función de producción enunciada y definida por Wicksteed para representar los distintos procesos de producción, con indiferencia de si el proceso que con ésta aducen describir es en un caso particular de tipo agrícola o industrial. Sin embargo, algunos críticos contemporáneos argumentan que esta función, con la subyacente homogeneidad de grado uno (o mayor), constituye una representación analíticamente más cercana de los procesos de la manufactura (fabriles) que de los agrícolas o artesanales²⁶, siempre y cuando estén disponibles materiales y energía apropiados en virtud de la ley de la conservación de la materia-energía (Christensen, 1989, pp. 20-21; Ayres, 2001).

Similarmente, Walras (1987, pp. 624-625) también critica a este autor en el sentido de que no proporciona prueba alguna de la ley de la distribución en el caso en que la función de producción no es linealmente homogénea y demuestra, de la mano de Enrico Barone, que dicha ley es extensible a todo tipo de función de producción en tanto las productividades marginales y las tasas de remuneración de cada factor sean iguales en el equilibrio de minimización de costos.

Así las cosas, el francés aclara que el equilibrio competitivo garantiza la distribución con arreglo a las productividades marginales de los factores y, por tanto, que la condición de rendimientos constantes de escala que Wicksteed introduce es no sólo demasiado estricta sino inútil para la demostración del teorema de agotamiento del producto que este último autor ha propuesto²⁷.

Finalmente, cabe señalar a modo de digresión respecto al primer supuesto que el cumplimiento estricto del teorema de Euler, considerando que las productividades

²⁶ Al respecto, considérense la demostración y aclaraciones de Georgescu-Roegen (1996, cap. IX, § 12).

²⁷ De hecho, contrario a lo que señala Wicksteed, tal condición resulta incompatible con la existencia de mercados competitivos ya que una función de producción homogénea de primer grado supone una función de costos lineal y, por tanto, una de costos marginales constante para todos los niveles de producción, mientras que la competencia perfecta tiene asociada como requisito una función de costos marginales creciente (Napoleoni, 1982).

marginales de los factores productivos son decrecientes, implica que se deba utilizar una cantidad cada vez mayor de cada factor. Ello obedece a que los rendimientos de escala se refieren a lo que ocurre cuando se incrementan *todos* los factores, mientras que el producto marginal decreciente describe lo que ocurre cuando se incrementa *uno* de ellos y se mantienen fijos los demás, por lo que los rendimientos de escala y la productividad marginal decreciente de cada uno de los factores son perfectamente compatibles en una función de producción.

En cuanto a la segunda condición enunciada por Wicksteed, Walras coincide ciertamente con aquel en que las unidades de capital-más-trabajo (para Walras, el valor del capital personal y de los bienes de capital propiamente dichos) aplicadas a la tierra deben expresarse en dinero, es decir, en lo que él denomina *numerario*²⁸. Las implicaciones de esta condición no serán abordadas en este trabajo.

Un planteamiento un tanto diferente desde el punto de vista teórico es el esbozado por Menger (1871) y Wieser (1893), aunque este último llega a la misma conclusión de Wicksteed respecto de la distribución²⁹. Menger (1871, cap. III, § 3a)) postula que el valor de los bienes de órdenes superiores está determinado por la relación previsible entre necesidad y cantidad disponible respecto del periodo futuro en que se podrá disponer de los bienes de primer orden mediante la transformación de los bienes de orden superior en cuestión³⁰; en otras palabras, el valor de los bienes de producción está condicionado por el valor de los bienes de consumo a cuya producción contribuyen.

Para la estimación del valor de los distintos bienes, este autor parte de la suposición de que el bien a valorar se ha perdido total o parcialmente con el fin de observar la privación de necesidades satisfechas originada por dicha pérdida y, de este modo, encontrar el valor de tal bien³¹. Este método lo aplica tanto a los bienes de primer orden como a los de órdenes superiores (incluida la actividad empresarial) tomados individualmente y, en

²⁸ El numerario o *mercancía patrón* es la mercancía que juega el papel de medio de cambio; por lo tanto, en términos de ésta se expresan los precios de todas las demás mercancías (Walras, 1987).

²⁹ Para una excelente síntesis de los planteamientos austríacos sobre la productividad marginal y el agotamiento del producto entre el valor de los factores productivos, remítase a Schumpeter (1957, pp. 36-46).

³⁰ La definición mengeriana de bienes de primer y superiores órdenes, al igual que de bienes complementarios, se encuentra en la sección concerniente al capital contenida en el segundo capítulo.

³¹ Esta metodología se conoce con el nombre de principio de pérdida.

relación con estos últimos, concluye que el decrecimiento en la significación de la satisfacción de necesidades ocasionada por la disminución de estos determina sus respectivos valores.

A tal respecto, el austríaco distingue claramente entre los casos en que, con miras a la obtención de una determinada cantidad de un bien de orden inferior, los bienes de orden superior sólo pueden utilizarse en conexión con los otros bienes complementarios en cantidades invariables –lo que se conocería posteriormente como función de producción de proporciones fijas– o a través de relaciones cuantitativas diferentes y variables, que incluso permiten la sustitución de una menor cantidad del bien de orden superior en mención por mayores cantidades de los restantes bienes complementarios –función de producción de proporciones variables–.

De acuerdo con el análisis de Menger, en el primer caso la reducción o ausencia de un bien concreto de orden superior puede afectar la cantidad y/o la calidad del bien de orden inferior en cuya elaboración participa y originar una reutilización de los bienes complementarios en empleos alternativos; de esta manera, el valor del bien de orden superior sustraído de la producción es igual a la diferencia entre la merma de satisfacción de necesidades ocasionada y el producto resultante del uso alternativo de los bienes complementarios.

En el segundo caso, el valor de un bien de orden superior es igual a la diferencia en la significación de la satisfacción de necesidades debida a la disminución de dicho bien en una unidad, luego de que el remanente del insumo cuyo valor se discute y los bienes complementarios a éste sean dispuestos y combinados de modo de obtener mayores ventajas –aunque ello signifique una calidad distinta (Menger, 1871, cap. III, § 3d).

Este proceso, de derivación del valor de los bienes de órdenes superiores a partir del valor de los bienes de primer orden, fue estudiado con mayor profundidad y difundido por Wieser (1893) con el nombre de “imputación” (*zurechnung*). Al respecto, este autor enfatiza en que no se puede valorar individualmente un bien de orden superior en función del rendimiento de la producción que le corresponde, sino que tal valoración debe hacerse

considerando el bien en cuestión y los bienes de orden superior que co-operan con éste como un todo (delimitando adecuadamente la imputación) (Wieser, 1893, Book III, ch. 2).

Sin embargo, a diferencia de Menger, este economista no se apoya en el principio de la pérdida y, en cambio, demuestra que la metodología propuesta por aquel da lugar a una situación en la que la suma de los valores de los bienes de órdenes superiores involucrados en la producción de un bien de consumo es mayor que la suma del valor del producto obtenido.

La esencia del planteamiento de Wieser (1893, Book III, Part I) consiste en la determinación de la “contribución productiva” o “contribución marginal” (producto marginal) de cada factor, es decir, la participación del (valor del) producto que le corresponde a cada factor productivo en virtud del aporte que estos hacen al valor total de la producción, y en la afirmación de que la suma de las contribuciones productivas es igual al valor total del producto³².

En este punto, vale la pena subrayar que la connotación del término “marginal” que utiliza este autor es bastante diferente de la de otros fundadores de la corriente marginalista, del mismo modo que tampoco supone la existencia de rendimientos constantes a escala. Ello obedece a que Wieser, al igual que Menger, trata cada factor productivo en sus propias unidades físicas y, por ende, como cantidades discretas, lo que se corresponde con la preocupación sumamente arraigada de ambos austríacos por las características técnicas de la producción, como se manifiesta asimismo en su noción de bienes complementarios.

Posteriormente, la controversia sostenida a mediados del siglo pasado entre los economistas de la Universidad de Cambridge y los neoclásicos del Instituto Tecnológico de Massachussets en torno a la teoría del capital pone de relieve nuevamente la polémica acerca de la distribución en el contexto de la función de producción agregada.

³² “The productive contribution, then, is that portion of return in which is confined the work of the individual productive element in the total return of production. The sum of all the productive contributions exactly exhausts the value of the total return.” Wieser, Friedrich von. *Natural Value*. Translated by Christian A. Malloch. 1893, Book III, chapter 5.

Los economistas neoclásicos argumentan que la condición marginalista del equilibrio y la distribución ya mencionada se satisface en todos los puntos de la función de producción agregada, de manera que la tasa de beneficio es igual a la productividad marginal del capital; para los neorricardianos, esta teoría de la distribución encierra un razonamiento circular toda vez que es imposible medir el capital agregado en equilibrio sin conocer el tipo de beneficio, y conocer el valor del capital de equilibrio es un requisito para conocer la productividad marginal del capital, de ahí que los economistas de la Universidad de Cambridge señalen que la productividad marginal no constituye un principio válido para construir una teoría de la distribución puesto que exige conocer previamente lo que se quiere explicar.

Ante esta crítica, los economistas neoclásicos se ven obligados a abandonar la teoría marginalista para analizar la distribución en el ámbito macroeconómico³³; no obstante, siguen sosteniendo que la retribución de los factores está influida por la productividad marginal de estos. Así, la productividad marginal aplicada a la distribución queda reducida a una teoría de la determinación de la demanda de factores productivos, cuyo enfrentamiento con las ofertas respectivas define las remuneraciones de equilibrio (Enciclopedia Planeta, 1980, pp. 424-427).

Las demandas mencionadas surgen como resultado de la aplicación de métodos de optimización, en los que el problema a resolver se define en términos de una conducta maximizadora del beneficio (o minimizadora del costo) por parte del empresario bajo condiciones de competencia perfecta en todos los mercados. En ese contexto, estas demandas constituyen demandas derivadas que igualan los precios de los factores a los valores de sus respectivas productividades marginales, lo que refleja que la concepción neoclásica de la distribución y la producción como un problema de determinación de precios bajo una estructura de equilibrio general se mantiene intacta.

De todo lo visto anteriormente se desprende que la concepción neoclásica de la producción surge como un desarrollo de la teoría marginalista de la distribución toda vez

³³ Incluso, estos economistas llegan a afirmar que la teoría de la distribución basada en la productividad marginal no tiene nada que ver con la existencia o no existencia de una función agregada de producción. Para una descripción juiciosa de dicha postura, véase Harcourt (1975, cap. 4).

que, desde el punto de vista metodológico, consiste en una extensión de los teoremas de ésta para analizar el fenómeno de la producción, partiendo implícitamente del supuesto de que la teoría de la producción es la misma teoría de la distribución³⁴. Esta afirmación es ratificada por Wicksell, quien argumenta que

en la práctica no pueden separarse los problemas de la distribución y la producción,
pues son esencialmente uno solo³⁵.

En ese sentido, es importante observar que la concepción de la distribución (y, por ende, de la producción) como un problema de formación de los precios de los factores, en el que el determinante último de estos se encuentra en los mercados de productos, se corresponde plenamente con la preocupación central de la teoría neoclásica por el intercambio. Así las cosas, el paso de un principio de la productividad que explica totalmente la distribución a uno que la explica vía la demanda de elementos productivos no supone modificación alguna en los fundamentos de la disciplina económica.

2.1.2. La productividad marginal y la sustitución de factores

En otro orden de ideas, el principio de la productividad marginal está asociado al supuesto metodológico del *ceteris paribus*, según el cual las cantidades existentes de todos los factores de producción distintos de aquel cuya productividad se estudia permanecen constantes con el fin de observar los cambios en el producto atribuibles a incrementos o decrementos infinitesimales en el factor variable. El empleo de este supuesto tiene como propósito fundamental simplificar el fenómeno en consideración para facilitar su discernimiento; sin embargo, tal propósito se cumple a costa de ignorar las múltiples interrelaciones que se presentan entre los factores en el proceso productivo.

En tal sentido, algunas críticas a la teoría de la productividad marginal señalan que el supuesto *ceteris paribus* ha sido malinterpretado al eliminarse la efectividad de los factores que se asumen constantes, de modo que se atribuye el producto marginal

³⁴ Tal como lo enuncia Clark (1891), "It (the principle of differential gain), ... identifies production with distribution, and shows that what a social class gets is, under natural law, what it contributes to the general output of industry."

³⁵ Wicksell, Knut. *Op. cit.*, p. 97.

solamente a las variaciones infinitesimales del factor variable y se desconoce que dichas variaciones actúan en combinación con las cantidades existentes del insumo cuya cantidad se modifica, de otros factores variables asociados al empleo de aquel (en virtud de la naturaleza del proceso productivo) y de los factores que permanecen constantes (Pullen, 2001)³⁶. Así las cosas, estas críticas concluyen que el principio de la productividad marginal, y su formalización matemática en el cálculo de derivadas parciales, omite el aporte que estos últimos elementos también hacen al cambio en el producto total³⁷.

Más aún, el principio de la productividad marginal (decreciente) ignora las limitaciones que sobre la producción real puede comportar la ausencia de un factor productivo (particularmente, la tierra) al presumir que el producto marginal de cada factor –léase, capital y trabajo– se obtiene de manera individual e independiente. Asimismo, este principio está estrechamente relacionado con la sustitución entre factores, tal como lo pone de presente Wicksell,

Por regla general, la producción es el resultado que surge al combinar la tierra con el trabajo. No es posible prescindir de ambos a la vez (al menos así ocurre respecto a la tierra), aunque, en el margen de producción, un factor puede sustituir al otro, pudiendo decirse de ambos que si uno de ellos aumenta unilateralmente, permaneciendo invariable la cantidad del otro, será causa de que el producto aumenta cada vez en menor proporción³⁸.

En ese sentido, cabe señalar que los supuestos e hipótesis sobre los cuales se sustenta la asignación de recursos en la economía neoclásica conceden un papel crucial a la sustitución de un bien por una alternativa similar, toda vez que a través de ésta se puede evitar la escasez de una mercancía particular en la producción o en el consumo (Stern, 1997, p. 199).

³⁶ Al respecto, Daly y Cobb (1993, pp. 108-109) y Daly (1999a, p. 37) demuestran discursivamente que la ley de la conservación de la materia-energía hace que la aplicación del principio de la productividad marginal dé lugar a una contradicción en relación con el capital y el trabajo, pues los productos marginales de estos factores son nulos en la medida que los recursos naturales se mantienen constantes.

³⁷ “*Ceteris paribus* is not the same as *ceteris inefficacibus*.” Pullen, John. *A Linguistic Analysis of the Marginal Productivity Theory of Distribution; or, the use and abuse of the proprietorial “of”*. Working Paper Series in Economics 4. University of New England, February 2001, p. 7.

³⁸ Wicksell, Knut. *Op. cit.*, p. 119.

En particular, la asunción de conductas optimizadoras (maximizadora del beneficio o minimizadora del costo) por parte de los empresarios bajo condiciones de competencia perfecta y productos marginales decrecientes conlleva la posibilidad de sustituir un factor por otro en la medida que este último sea más productivo y ello se refleje en los precios de mercado³⁹. Esta posibilidad es sólo un reflejo de que una producción dada se puede obtener mediante diversas combinaciones de factores.

Como consecuencia de lo anterior, las posibilidades de sustitución entre los elementos productivos determinan la existencia de requerimientos mínimos de insumos, esto es, de factores *esenciales* que comportan restricciones sobre la producción en la medida que, dadas cantidades positivas de los otros factores, la producción se hace nula cuando sus magnitudes son cero y estrictamente positiva cuando estos se presentan en cantidades positivas⁴⁰.

Tales posibilidades se supeditan, a su vez, a la forma funcional asumida en los distintos modelos de la producción y el crecimiento económico y, especialmente, a la *elasticidad de sustitución*, un coeficiente introducido inicialmente por Hicks (1973, cap. 6) que mide la sensibilidad de las proporciones de factores a cambios en los precios relativos de los mismos, manteniendo invariable el nivel de producción⁴¹, y cuya fórmula más comúnmente utilizada es

$$\sigma = \frac{\frac{d\frac{K}{L}}{\frac{K}{L}}}{\frac{d\frac{dK}{dL}}{\frac{dK}{dL}}} = \frac{d \ln\left(\frac{K}{L}\right)}{d \ln\left(\frac{f_K}{f_L}\right)} \quad (1.3)^{42}$$

³⁹ En efecto, si las firmas obedecen las condiciones de la teoría de la determinación de la demanda de factores por la productividad marginal, la relación marginal de sustitución técnica se hace igual a la razón de precios de los insumos (Nicholson, 1992, p. 665).

⁴⁰ Formalmente, si se denotan las cantidades de los distintos insumos mediante x_i ($i = K, L, \dots$) y $\mathbf{x}(t)$ es el vector de cantidades de factores, entonces $f[\mathbf{x}(t)] = 0$ si $x_i = 0$ para todo i y todo t .

⁴¹ Este coeficiente es una medida de la curvatura de una isocuanta dada.

⁴² Véase nota 39.

Así las cosas, una elasticidad de sustitución grande significa que uno de los factores puede incrementarse fácilmente cuando se reduce el uso del otro insumo, manteniendo un mismo nivel de producción. En efecto, la “sustituibilidad infinita” ($\sigma = \infty$) conlleva que los elementos productivos sean igualmente útiles, por lo que los empresarios no ven diferencia alguna entre estos y utilizan el menos costoso. En consecuencia, siempre que la elasticidad de sustitución sea mayor que uno, ninguno de los factores es esencial para la producción (Stern, 2004, pp. 6-7).

De otro lado, una elasticidad de sustitución pequeña significa que los factores deben ser empleados completamente en proporciones claras y precisas para la producción de un determinado nivel de producto. De hecho, cuando no existen posibilidades de sustitución ($\sigma = 0$), los insumos deben ser usados en proporciones fijas para que la producción sea minimizadora de costos (Stern, 2004, p. 7; Nicholson, 1992, p. 311).

Similarmente, una elasticidad de sustitución unitaria ($\sigma = 1$) significa que a medida que cambia la proporción de factores en un porcentaje dado, manteniéndose constante el producto, la razón de productos marginales cambia en el mismo porcentaje pero en la dirección opuesta. A esta situación se le denomina “perfecta sustituibilidad”. De esta manera, cuando las posibilidades de sustitución entre factores para una determinada producción se caracterizan por una elasticidad inferior o igual a uno, dichos factores son esenciales (Stern, 2004, pp. 6-7; Cleveland, 2003).

Por otra parte, y en relación con lo anterior, algunos economistas argumentan que las posibilidades de sustitución dependen del horizonte temporal considerado. Así, en el largo plazo todos los factores son variables y pueden ser sustituidos sin dificultad en tanto que en el corto plazo el grado de sustitución entre elementos productivos es más limitado⁴³. No obstante, el estudio de esta dimensión de la sustitución entre factores no será abordado puesto que excede los objetivos de este trabajo.

En síntesis, el principio de la productividad marginal convierte a la noción de sustitución en el razonamiento central sobre cuyas bases se explica no sólo la aproximación

⁴³ Esta es la característica subyacente a la tecnología de producción *putty-clay* propuesta por Leif Johansen, W. E. G. Salter y Robert M. Solow a principios de la década del sesenta del siglo pasado.

neoclásica a la formación de precios de los factores y la producción, sino también a los aspectos físicos relevantes de la actividad económica.

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS: LA AUSENCIA DE UNA TEORÍA DE LA PRODUCCIÓN

En la segunda mitad del siglo XIX, tuvo lugar una mutación en el objeto de la economía desde la dinámica de la producción y la riqueza material al análisis del valor de cambio y la escasez. Esta mutación trajo consigo una nueva visión de la sociedad y la actividad económica en la que predomina el aspecto mercantil, por lo que éste pasa a convertirse en el pilar de la teoría económica neoclásica y, como correlato, de las teorías de la producción y el crecimiento que se han planteado desde el siglo pasado.

Así las cosas, la producción fue subsumida bajo la racionalidad de la transacción y, por ende, concebida teóricamente en la forma de una compra-venta de factores productivos en la que la fijación de precios atiende a criterios de optimización estática congruentes con el equilibrio competitivo. De ahí que el carácter de la producción como un proceso de transformación de materia y energía sea excluido del núcleo de la economía neoclásica.

Tal exclusión tiene lugar porque la teoría neoclásica, al centrar su atención en el intercambio, entiende la actividad económica como un sistema aislado del medio físico (es decir, en el que no hay entradas ni salidas de materia y energía) conformado por humanos que se relacionan unos con otros mediante flujos de bienes y de dinero. Esta interpretación del sistema económico ignora que los bienes son producidos y consumidos gracias al aporte de materias primas y recursos naturales (renovables y no renovables) que, como consecuencia de estas actividades de transformación, terminan inevitablemente siendo desperdicios (bien sea como polución o, en la medida que no haya reciclaje, como basura)⁴⁴.

⁴⁴ "From the point of view of materials and energy, the economy is a system of transformations that convert raw materials and natural resources (both renewable and nonrenewable) into 'final' goods and services. This transformation is unidirectional: Crude materials and energy are extracted, refined, processed, recombined in new forms, fabricated, and assembled into articles of commerce or 'infrastructure'. These products are not 'consumed' in a physical sense. Rather, they render specific services to 'consumers,' after which they are discarded as wastes." Ayres, Robert U. "Application of Physical Principles to Economics." In: *Resources*,

Lo anterior explica la discrepancia entre la noción neoclásica (walrasiana) de escasez y la acepción usual de este término –que hace referencia a la mayor o menor presencia de un recurso en la corteza terrestre o de una especie animal o vegetal en la biosfera. En tal sentido, la consideración tradicional de que los recursos naturales se encuentran en cantidades ampliamente disponibles ha generado en los economistas la percepción de que estos no son escasos y, en consecuencia, no son tenidas en cuenta las funciones que dichos recursos desempeñan en la estructura y operación del sistema económico al igual que se les otorga un bajo valor monetario. Así, citando de nuevo a Robbins,

En el mundo exterior existen cosas tan relativamente abundantes que el uso de unas cuantas unidades para un fin no supone renunciar a otras unidades para otro. El aire que respiramos es un ejemplo de esos bienes ‘gratuitos’⁴⁵.

La economía ha racionalizado el funcionamiento del sistema económico basándose en la optimización de dos procesos o etapas estrechamente relacionadas: de los *factores de producción* a los *bienes y servicios* y, de ahí, a la *utilidad* o el *bienestar*. En la primera etapa, la optimización está orientada hacia la organización de la producción y la asignación de los factores productivos; en la segunda etapa, la optimización se orienta hacia la distribución de ingresos entre consumidores y gastos entre bienes y servicios (Ayres, 1978, p. 67).

Ello obedece a que los economistas han considerado que la finalidad de la producción es la provisión de utilidad, no percatándose de que ésta es una variable subjetiva e imprecisa que representa los deseos humanos. De ahí que el tratamiento que se le da en la teoría de la producción a la escogencia de combinaciones de insumos sea simétrico al que se le da a la selección de conjuntos de bienes de consumo en la teoría de la utilidad, lo que se traduce en un análisis de la producción exactamente paralelo al de esta última teoría.

Environment, and Economics: Applications of the Materials/Energy Balance Principle. New York: John Wiley & Sons, 1978, p. 66.

⁴⁵ Robbins, Lionel. *Op. cit.*, p. 37.

Así, se considera que la competencia realizada en mercados libres, transparentes y perfectos es la regla general de la producción de la riqueza en la medida que de esa forma se maximiza la utilidad de los individuos. Con ello, se justifica la concepción del problema de la producción como una extensión del intercambio para determinar los precios de los factores productivos y, por ende, la subordinación de la teoría de la producción a la teoría del intercambio.

Tal concepción se apoya en el punto de vista según el cual los precios pagados por los diferentes insumos son pagos a los poseedores de los factores “primarios” por los servicios provistos directamente o incorporados en los bienes intermedios producidos, de modo que el conjunto de los pagos equivale al total de los ingresos provenientes de la producción⁴⁶. Esta perspectiva es formalizada matemáticamente en la ley fundamental de la distribución, a saber, el teorema de agotamiento del producto.

A este respecto, es de destacar la jerarquización teórica que efectúa Walras entre economía política pura y economía política aplicada para poner en evidencia que la enunciación de la función de producción –en el marco de la formulación del teorema señalado– constituye una utilización del método y el lenguaje matemático propio de la teoría del valor de cambio con el fin de abordar un fenómeno del que se ocupa la economía política aplicada⁴⁷.

De esta manera, la función de producción constituye una expresión matemática cuyo origen está estrictamente vinculado al análisis de la producción-distribución y, en últimas,

⁴⁶ “La autorregulación implica que toda la producción está destinada a la venta en el mercado y que todos los ingresos provienen de ella. Existen, en consecuencia, mercados para todos los elementos de la industria, no sólo para los bienes (entre los que figuran siempre los servicios), sino también para el trabajo, la tierra y el dinero cuyos precios son denominados respectivamente precios de mercancías, salario, renta territorial o “renta” e interés. Estos mismos términos indican que los precios forman los ingresos: el interés es el precio de la utilización del dinero y constituye los ingresos de quienes están en posición de ofrecerlo; el arriendo es el precio de la utilización de la tierra y constituye los ingresos de quienes la arriendan; el salario es el precio de la utilización de la fuerza de trabajo y constituye los ingresos de quienes la venden; en fin, los precios de las mercancías o de los productos hacen posibles los ingresos de quienes los venden, siendo el beneficio en realidad la renta resultante de dos conjuntos de precios: el de los bienes producidos y, por otra parte, su coste, es decir el precio de los bienes necesarios para su producción. Si se cumplen estas condiciones, todos los ingresos provienen de las ventas realizadas en el mercado y son suficientes para comprar todos los bienes producidos”. Polanyi, Karl. *Op. cit.*, pp. 122-123.

⁴⁷ Similarmente, cabe resaltar que, como se colige de la nota 10, Walras no pretendió emplear este recurso para caracterizar los procesos de producción.

del intercambio toda vez que con su enunciación se pretendió dar cuenta de la manera como el valor de la producción se puede descomponer entre las remuneraciones correspondientes a las aportaciones de los elementos productivos primarios.

En tal sentido, cabe recordar que la formulación que hace Wicksteed de la teoría de la productividad marginal aplicada a la distribución le otorga un papel decisivo a la naturaleza de la tecnología utilizada y, en particular, a los rendimientos constantes de escala. Esta propiedad descansa en la noción de replicación, de modo que si todos los insumos relevantes son identificados correctamente, entonces es posible replicar el proceso, con lo que se omite la heterogeneidad y las situaciones “únicas” en relación con los factores que se presentan en la realidad observable (Lewin, 2005).

Así las cosas, se entiende que el atributo de rendimientos constantes de escala halle su forma matemática en la función de producción homogénea de primer grado y que requiera a su vez de la expresión en términos pecuniarios de los factores y el producto, ya que solamente bajo estas condiciones se hace fácilmente aprehensible la noción de replicación.

Adicionalmente, la teoría de la productividad marginal presume que el producto marginal de cada factor (capital y trabajo) se obtiene de manera individual e independiente toda vez que la definición de producto marginal requiere que las cantidades de los otros insumos se mantengan constantes a medida que se añade una unidad del factor cuya productividad se estudia. De esta forma, esta teoría prescinde de la efectividad de los elementos que se asumen fijos al desconocer que las unidades adicionales de aquel factor actúan en combinación con cantidades existentes del mismo, de otros insumos variables asociados a su empleo (en virtud de la naturaleza del proceso productivo) y de los factores que permanecen constantes (Pullen, 2001).

Por consiguiente, el supuesto *ceteris paribus*, asociado al principio de la productividad marginal, es una construcción metodológica de poca aplicación a los procesos físicos que constituyen la producción en la medida que, al prescindirse de la efectividad de los elementos mencionados, se ignoran los nexos de complementariedad entre los diferentes factores al interior de las técnicas productivas así como los materiales y la energía en su

condición de recursos productivos de origen natural que sirven de sustrato de los factores provenientes o elaborados por el hombre; por tales razones, plantear la existencia del producto marginal de factores como el trabajo o el capital no tiene sentido –¡tal producto simplemente no existe!– (Christensen, 1989; Daly y Cobb, 1993, pp. 108-109) y más bien comporta un claro reduccionismo sobre procesos que no son reducibles.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, puede decirse que los supuestos técnicos de la teoría de la producción, al igual que las características que esta teoría le atribuye a los materiales, la energía, los factores y los procesos, han sido esencialmente abstraídos en propiedades matemáticas que se encuentran en conflicto con los principios físicos básicos que gobiernan las transformaciones materiales y energéticas (Christensen, 1989, pp. 18-19; Hubacek y van den Bergh, 2006, p. 16; Ayres, 1978, p. 67).

En efecto, la teoría neoclásica de la producción viola las leyes de la termodinámica al asumir implícitamente que el capital o el trabajo “crean” el producto, al igual que los materiales y la energía que se requieren para la producción⁴⁸ (Ayres, 1978; Christensen, 1989, p. 23).

Más aún, en la enunciación de esta teoría subyace la idea de que, cuando el capital o el trabajo no “crean”, se pueden sustituir entre sí y con los recursos naturales en la medida que no se establece distinción física alguna entre estos elementos. Es así como la noción de *sustituibilidad* resulta absolutamente esencial al concepto de función de producción, lo que quiere decir que se asume que un producto dado (o un arreglo dado de productos) puede ser obtenido de un conjunto de combinaciones de insumos y que una combinación tal será “óptima” bajo cualquier función objetivo y precios de los factores (Ayres, 1978).

De esta manera, el principio de productividad marginal convierte a la noción de sustitución en un razonamiento central sobre cuyas bases se explican tanto la formación de precios como la producción. Sin embargo, la posibilidad de sustitución libre entre factores fundamentalmente diferentes enfrenta restricciones físicas que la limitan en tanto los insumos productivos poseen atributos de diversa índole que los hacen sustitutos pobres

⁴⁸ De ahí que, desde una perspectiva física, se considere que estas funciones son inapropiadas para representar los sectores procesadores de materiales de la economía.

(Stern, 1997); empero, los economistas le han prestado poca atención a tales restricciones, como se tendrá oportunidad de examinar en el próximo capítulo.

En síntesis, la teoría de la producción ignora los aspectos físicos relevantes de la actividad económica y reemplaza la complementariedad y heterogeneidad propia de los procesos productivos reales con una suerte de homogeneidad, separabilidad y sustituibilidad entre factores, razón por la cual constituye una construcción que posee poca aplicación a los procesos de transformación material y energética englobados bajo el término producción (Christensen, 1989).

Por estas razones, puede decirse que no existe en sí una teoría de la producción en la medida que las proposiciones que los economistas reúnen bajo dicha teoría surgen de una extensión del análisis del intercambio y, por ende, sirven a tal objeto, no a la reflexión sobre los procesos reales de transformación inherentes a la actividades productivas; en ese contexto, la función de producción resulta ser una “caja negra” en la que los factores y los productos fluyen de un modo básicamente inexplicable.

Se ha visto que la función de producción es un instrumento metafórico que también ha sido usado para abordar la manera en que las economías crecen, de ahí que sea la base de las teorías contemporáneas del crecimiento. En ese sentido, el hecho de que esta función infrinja la primera y segunda leyes de la termodinámica se refleja en diversas interpretaciones acerca de los límites al crecimiento económico y el creciente impacto de las actividades de producción y consumo sobre el medio ambiente (a medida que su nivel se incrementa) que dichas leyes entrañan. A la consideración de estos aspectos, desde la perspectiva teórica de la definición de los factores de producción y la enunciación de diversas teorías del crecimiento, se dedicarán los capítulos que siguen.

CAPÍTULO 2.

LA CONCEPCIÓN NEOCLÁSICA DE LOS FACTORES PRODUCTIVOS Y SUS NEXOS CON LOS RECURSOS NATURALES EN LA TEORÍA DE LA PRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Se ha visto en el capítulo anterior que los elementos o factores productivos se conciben en la teoría neoclásica como mercancías cuyas cantidades y valores se determinan por la acción de la oferta y la demanda en mercados competitivos, siendo la escasez el elemento que define su carácter económico.

Con todo, los economistas neoclásicos han caracterizado de maneras distintas dichos factores, redundando ello en polémicas en torno a sus respectivas definiciones a lo largo de la historia del pensamiento económico desde fines del siglo XIX. Bajo este influjo, algunas corrientes contemporáneas han enunciado una gran variedad de términos referentes a los elementos productivos y sus servicios, como se evidencia en las teorías del capital humano y en la distinción entre capital natural y capital artificial.

Así las cosas, se hace necesario analizar por separado cada uno de los denominados factores productivos en términos de su unicidad conceptual y sus relaciones con las categorías recientemente emergentes. Con este propósito, en el presente capítulo se estudia el desenvolvimiento conceptual de estos factores en el marco de la teoría económica neoclásica, al igual que sus nexos con los recursos naturales y la energía.

Para ello, en la primera sección se muestran someramente las dos posturas más importantes que se han registrado en la historia del pensamiento económico neoclásico alrededor de la definición y clasificación de los factores de la producción. De un lado, la distinción entre *factores primarios* y *medios de producción*, así como la preponderancia

otorgada a los primeros, por algunos autores austriacos. De otro lado, la reducción de todos los elementos productivos a componentes de un único factor, el capital, planteada por Walras y seguida con algunas variantes por parte de economistas posteriores.

Estas posturas son descritas con más detalle entre el segundo y quinto acápites, en los que se abordan las concepciones sobre cada uno de los factores productivos de manera independiente y algunas relaciones que analíticamente se vislumbran entre éstas. En tal sentido, se esboza con una connotación crítica cómo ciertamente el desenvolvimiento del concepto de capital ilustra el predominio de la segunda postura en la teoría neoclásica.

A lo largo de estos apartados, se procura establecer conexiones entre las concepciones abordadas y los recursos naturales –materia y energía– y las leyes que rigen estos elementos biofísicos. También, con algunas posiciones que científicos de otras disciplinas (por ejemplo, Frederick Soddy y Sergei Podolinsky) han postulado al respecto y de las cuales se resaltan ciertas discusiones.

En ese orden de ideas, en la cuarta y quinta secciones se estudian las relaciones entre el concepto de capital y los recursos naturales y la energía en el marco de la función de producción neoclásica. Particularmente, se examinan las distintas configuraciones que toma la asunción de perfecta sustituibilidad entre los factores productivos y las inconclusas polémicas a que tales configuraciones han dado lugar: la denominada controversia sobre teoría del capital y el debate acerca del papel productivo de la tierra.

Por último, se integran los aspectos mencionados en el contexto de las teorías de la producción y el crecimiento económico con recursos naturales para poner en evidencia que dichas teorías no toman en cuenta realmente estos recursos. Así, se concluye que la función de producción neoclásica acoge el supuesto de posibilidades de sustitución perfecta entre los factores productivos únicamente en virtud de la logicidad matemática, pero que dichas posibilidades son irrealistas desde una perspectiva biofísica. Consecuentemente, se argumenta en favor de la adopción de representaciones de la producción y el crecimiento que consideren la interdependencia entre los elementos productivos y el carácter indispensable de los recursos naturales.

1. LA DEFINICIÓN DE LOS FACTORES PRODUCTIVOS EN EL PENSAMIENTO NEOCLÁSICO

Como se ha visto, los elementos o factores productivos se conciben en la teoría neoclásica como mercancías cuyas cantidades y valores se determinan mediante transacciones en mercados competitivos, siendo por tanto sujetos a la oferta y la demanda en dichos mercados¹; en ese sentido, la escasez de tales elementos define su carácter económico, aspecto que se abordará más adelante desde la perspectiva de los fundadores de la corriente neoclásica.

Al respecto, la historia del pensamiento económico registra una polémica relacionada con la definición y clasificación de los factores de la producción fundamentada en la consideración de los elementos productivos primarios. En un principio, la preocupación ricardiana acerca de las leyes de la distribución condujo a establecer la distinción entre los tres factores tradicionales: tierra, trabajo y capital, así como a su vinculación con las clases sociales que los poseen². Posteriormente, Say y otros autores posteriores a Marx consideraron productiva cualquier “presencia” en el proceso de producción, sin importar su procedencia (Napoleoni, 1982, p. 571).

Frente a estas concepciones no tardaron en presentarse discrepancias. Así, Walras señaló que la división tripartita de los factores es difusa y enfatizó en que la esencia de estos estriba en los servicios que prestan los elementos productivos.

Los factores productivos son tres. Al enumerarlos, la mayoría de los autores dicen: *tierra, trabajo y capital*. Pero estos términos no son lo bastante rigurosos como para servir de base a deducciones racionales. El *trabajo* es el servicio de las facultades humanas, o de las *personas*; es preciso clasificarlo no junto a la tierra y el capital, sino

¹ Para Polanyi (1989), esto constituye un error conceptual toda vez que, según este autor, las mercancías son objetos producidos para la venta en el mercado, de ahí que les dé a los elementos de la industria (trabajo, tierra y dinero) el nombre de “mercancías ficticias”. Sin embargo, también señala que dicha ficción permite organizar en la realidad los mercados de trabajo, de tierra y de capital, contribuyendo de este modo a la autorregulación del sistema económico.

² En consecuencia, se establece una clara separación entre la remuneración al factor considerado en sí mismo y la remuneración al propietario del factor, lo que da lugar a la distinción entre renta funcional y renta personal, a la vez que tácitamente se identifican ambas remuneraciones (Oller, 1996, p. 9).

con los *servicios de la tierra* prestados por la *tierra* y con los *servicios del capital* prestados por los *bienes de capital*³.

De acuerdo con esta concepción, los llamados factores productivos consisten en componentes de un único elemento: el capital. De hecho, como se verá más adelante, Walras (1987, pp. 373-375) abarca dentro del capital a las tierras, las personas y los bienes de capital.

Por otra parte, autores austriacos como Böhm-Bawerk y Schumpeter jerarquizaron los elementos productivos atendiendo a su origen al plantear que la producción tiene lugar mediante la utilización de *factores primarios* y de *medios de producción* (también denominados *bienes de capital*). Estos economistas hicieron hincapié en que los factores primarios no resultan de procesos productivos corrientes (como el trabajo y la tierra) en tanto que los medios de producción son bienes producidos que entran directa o indirectamente en la producción de otros bienes o de sí mismos.

Así las cosas, Böhm-Bawerk (1891) subraya la existencia de lo que denomina la tríada de instrumentos de la producción: Naturaleza, Trabajo y Capital. Sin embargo, este autor expresa que la producción es una combinación de dos poderes productivos elementales, a saber: los poderes impersonales de la Naturaleza y los poderes personales del Trabajo del hombre. De esta manera, la co-operación de estos dos elementos da lugar a formas materiales definidas, no habiendo lugar para un tercer poder productivo y, en consecuencia, constituyendo el Capital un producto intermedio a través del cual la Naturaleza y el Trabajo ejercen su carácter instrumental.

De otro lado, Schumpeter (1957, pp. 29-32) parte de la jerarquización efectuada por Böhm-Bawerk (1891) para postular los que considera son los elementos últimos de la producción: la tierra (dones naturales) y el trabajo; en tal sentido, señala que ambos factores son igualmente indispensables. Similarmente, plantea que los “medios de producción producidos se resuelven en tierra y trabajo”⁴ a la vez que constituyen partes

³ Walras, Léon. *Elementos de Economía Política Pura: o Teoría de la Riqueza Social*. Traducción de Julio Segura. Madrid: Alianza, 1987, p. 368.

⁴ Esta cita no es original del autor, sino una adaptación de sus palabras textuales.

de bienes de consumo potenciales, de modo que no existe razón alguna para considerarlos como un factor productivo independiente.

A continuación, se ponen de relieve las diferentes concepciones que en el marco de la teoría económica neoclásica se han gestado en torno a los factores productivos, las cuales contribuyen a consolidar las posiciones mencionadas antes. Asimismo, se indican las relaciones de estas concepciones con los recursos naturales y con algunas apreciaciones formuladas al respecto desde una perspectiva biofísica.

2. EL TRABAJO

2.1. ALGUNAS PRECISIONES SOBRE SU CARÁCTER ECONÓMICO

Con el surgimiento de la Economía Neoclásica, el trabajo deja de ser considerado el sustrato de la producción y la fuente del valor de cambio para empezar a ser tratado como un insumo (*input*) referido al esfuerzo, habilidad y conocimiento que los humanos proveen directamente a la producción de los distintos bienes.

En este sentido, cabe subrayar que la aplicación de dicho esfuerzo, habilidad y conocimiento suscita cansancio e induce en las personas que lo ejercen una disyuntiva entre la actividad mencionada y la no realización de la misma, es decir, entre el trabajo y el ocio. Esta situación hace que la cantidad de trabajo sea limitada, lo que convierte a éste en un bien económico (Escobar Gallo y Cuartas Mejía, 1996, p. 287).

De esta manera, el trabajo comienza a ser visto como una *mercancía*, similar a cualquiera otra, que es ofrecida y demandada en un mercado –valga señalar, el mercado de trabajo o laboral– y cuyo precio (el salario) está determinado por el producto atribuible a la última unidad adicional ofrecida.

Los aspectos señalados anteriormente delimitan el carácter económico de la categoría en cuestión, diferenciándola de los atributos que le otorgan al trabajo las ciencias exactas e, incluso, sociales⁵. En tal sentido, es importante hacer dos precisiones:

En primer lugar, los teóricos neoclásicos no distinguen entre trabajo, fuerza de trabajo y trabajador. Al respecto, dichos autores desconocen la separación que Marx efectúa entre estas tres categorías, separación que obedece al objetivo de arrancar el trabajo del hombre para convertirlo en sustancia del valor y de la que se deriva la precisión referente a que el trabajo no es una mercancía, sino que lo es la fuerza de trabajo que los obreros venden al capitalista para, de un lado, aquellos vivir, y, de otro, estos disponer de ella (Marx, 1891, pp. 22, 25)⁶.

Entendemos por *capacidad o fuerza de trabajo* el conjunto de las condiciones físicas y espirituales que se dan en la corporeidad, en la persona viviente de un hombre y que éste pone en acción al producir valores de uso de cualquier clase⁷.

El *trabajo humano* es el empleo de esa *simple* fuerza de trabajo que todo hombre común y corriente, por término medio, posee en su organismo corpóreo, sin necesidad de una especial educación⁸.

... en tanto que determinación (el trabajo) ha dejado de confundirse con los individuos bajo cualquier aspecto particular⁹.

Es así que, en concordancia con el desconocimiento señalado, los neoclásicos reducen la categoría trabajo a la mera expresión “mano de obra”, es decir, a los individuos portadores de la peculiar mercancía fuerza de trabajo.

⁵ No obstante, y en tanto la condición de poseedor o demandante de fuerza de trabajo determina la situación de empleado o empleador, respectivamente, de los seres humanos, la concepción económica de trabajo lleva implícita una dimensión social.

⁶ Cabe recordar que la delimitación de la fuerza de trabajo como una cosa separada del hombre se enmarca dentro de la Filosofía Natural newtoniana, aunque con un sesgo inequívocamente social (Gómez G., 2000, pp. 54-55).

⁷ Marx, Carlos. *El Capital. Crítica de la Economía Política*. 3 vols. Segunda edición. Traducción de Wenceslao Roces. México: Fondo de Cultura Económica, 1959, Vol. I, cap. IV, § 3, p. 121.

⁸ Marx, Carlos. *Ibid.*, cap. 1, § 2, p. 11.

⁹ Marx, Carlos. *Introducción General a la Crítica de la Economía Política*. Santafé de Bogotá: Esquilo, p. 60.

En segundo lugar, el concepto de trabajo en Economía es bastante diferente del adoptado en la Física Clásica por la Termodinámica, según el cual el trabajo es el producto de la fuerza por la distancia¹⁰. Más aún, la concepción de trabajo humano que emplea la economía convencional difiere profundamente de la esbozada por Sergei A. Podolinsky, para quien, de acuerdo con la interpretación de Gómez Echeverry (2000, p. 54), “el *trabajo* es la acción de transformar una forma de energía en otra, ya sea a un nivel superior que se acumula (*trabajo útil*), o que se conserva por un lapso de tiempo corto (...) y luego se disipa”¹¹.

A tal respecto, obsérvese que para el médico ucraniano el trabajo es posible gracias a la utilización de energía y no implica un desplazamiento neto, contrario a la definición de la Física, que concibe el trabajo como una acción de traslado (cambio de lugar). Así las cosas, puede decirse que los planteamientos podolinskyano y de la Física acerca del trabajo son bien diferentes en cuanto a origen y propósito, denominando fenómenos distintos con el mismo término¹² (Gómez Echeverry, 2000, pp. 52-57). De hecho, en virtud de esa diferencia, el primer autor le propone audazmente a la Economía vigente en ese entonces –fines del siglo XIX– retomar el concepto de trabajo de la Economía Clásica y enriquecerlo con los principios de la Termodinámica a fin de replantear sus teorizaciones (Gómez Giraldo y Posada Londoño, 2003, p. 137).

2.2. DIVERSAS CONCEPTUALIZACIONES: WALRAS, BÖHM-BAWERK

En consonancia con las precisiones esbozadas arriba, los economistas neoclásicos han postulado diversas definiciones acerca de la categoría trabajo, lo que permite caracterizar el desenvolvimiento teórico de esta categoría como casi circular con algunas desviaciones hacia la Física.

¹⁰ Es de resaltar que esta concepción del trabajo fue introducida a mediados del siglo XVIII por James Watt, al medir la cantidad de trabajo que podía ejecutar un caballo al tirar de un peso suspendido por una polea. En tal sentido, la definición de trabajo en Física es matemática (Gómez Echeverry, 2000, cap. 2).

¹¹ Según Podolinsky (1995), el trabajo útil es la verdadera fuente de riqueza económica en la medida que está orientado hacia el aumento de las reservas de energía transformable en el planeta tierra, permitiendo de este modo la existencia de la vida.

¹² De acuerdo con Guerasimov, aún hoy se discute si el calor y el trabajo son formas de energía. Empero, si ello fuere así, entonces las nociones de trabajo de Podolinsky y de la Física serían equivalentes toda vez que el movimiento de formas de energía de un sistema a otro requeriría previamente de su transformación en calor o en trabajo o en ambos.

Así, para Walras (1987, pp. 368, 372) el trabajo es el servicio prestado por las facultades humanas, o las *personas*, a quienes denomina capitales personales y define de la siguiente manera:

Las personas son también capitales *naturales*; pero son capitales *percederos*, es decir, susceptibles de destrucción por uso o desaparición por accidente. Desaparecen; pero reaparecen a continuación a medida que cada generación se reproduce. Por tanto, su cantidad, lejos de ser constante, es susceptible de crecer indefinidamente bajo ciertas condiciones¹³;

Las facultades personales de los hombres son también capitales naturales. Su cantidad depende no de las variaciones de la producción industrial, sino de las de la población. En cambio, son capitales destructibles y percederos, cuya amortización y aseguramiento pueden considerarse realizados por medio de la procreación y el mantenimiento, educación e instrucción de las mujeres y de los hijos de los trabajadores¹⁴.

Como se observa, este autor considera que las personas constituyen una forma de capital que, contrario a la tierra, sí es susceptible de deterioro o destrucción como consecuencia de las actividades de producción u otros eventos; similarmente, su cantidad tampoco es fija debido a que puede incrementarse en el tiempo a través de la reproducción y la educación, compensando el capital (las personas) que va(n) desapareciendo y provocando variaciones en la población.

En una posición diametralmente opuesta se encuentra Böhm-Bawerk, para quien el Trabajo es uno de los poderes primarios que, combinado con los poderes de la naturaleza bajo las leyes naturales, da como resultado una forma material definida, los bienes. En tal sentido, este autor considera que la contribución del hombre a la producción es la capacidad de *poner en movimiento* objetos (Böhm-Bawerk, 1891, Book I, ch. I).

¹³ Walras, Léon. *Op. cit.*, p. 374.

¹⁴ Walras, Léon. *Ibid.*, p. 450.

Por consiguiente, el austríaco entiende el Trabajo como la fuerza física de los humanos y añade que éste presenta carácter económico casi en su totalidad debido a la escasez de dicha fuerza en comparación con las necesidades humanas para las cuales se le requiere y a que su ejercicio –al menos, más allá de cierto punto– genera dolor y fatiga (Böhm-Bawerk, 1891, Book II, ch. II).

Obsérvese que la definición de trabajo de este autor es ciertamente cercana al concepto de trabajo propio de la Física en tanto alude a la aplicación de la fuerza humana al desplazamiento de objetos; empero, para Böhm-Bawerk el carácter económico del trabajo está determinado por la cantidad disponible de dicha fuerza en relación con los requerimientos de la misma por parte de los humanos.

2.3. EL CAPITAL HUMANO Y SU INCIDENCIA EN EL FACTOR TRABAJO

Posteriormente, en la década del cincuenta del siglo pasado, los economistas de la escuela de Chicago introdujeron el concepto de *capital humano* para describir el hecho de que el cuerpo humano puede aumentar su capacidad productiva a base de realizar inversiones. De acuerdo con este concepto, para que un cuerpo humano sea productivo y pueda ser clasificado como fuerza de trabajo, la sociedad (los padres, las empresas, entre otros) y la persona poseedora de dicho cuerpo deben invertir recursos en él que toman la forma de salud física y psíquica, educación, formación en el trabajo, información sobre el mercado laboral y migración (Becker, 1983; Schultz, 1974, p. 159; Sala-i-Martin, 2000, pp. 52, 157).

Así las cosas, las inversiones en capital humano permiten mejorar la calidad de la fuerza de trabajo y, por ende, una utilización más eficiente de la misma en la medida que el conjunto de conocimientos, preparaciones y habilidades derivados de las evidentes diferencias cualitativas entre tipos de educación, formación dentro del trabajo, aprendizaje informal, etc., capacitan a las personas para ejecutar labores con distintos grados de complejidad y organización.

Lo anterior pone de presente que el capital humano incide en la heterogeneidad del factor trabajo toda vez que las inversiones en capital humano dan como resultado que cada

persona posea un tipo diferente de fuerza de trabajo. Esta observación riñe con el supuesto fundamental, incluso implícito en la definición marxiana de trabajo, según el cual el trabajo es homogéneo.

En otro orden de ideas, una de las implicaciones teóricas más importantes que conlleva la introducción del concepto de capital humano es la consideración de que el trabajo es susceptible de ser acumulado, de la misma forma que el capital. Esta consideración implica a su vez el reconocimiento de que los factores productivos tradicionales –valga decir, el capital y el trabajo– son, en realidad, capital de dos tipos diferentes, lo que obliga a distinguirlos mediante las designaciones de capital físico y capital humano, respectivamente (Sala-i-Martin, 2000).

Más aún, puede advertirse en el concepto de capital humano y en sus relaciones con la categoría trabajo una suerte de vuelta a la definición walrasiana de capitales personales en la medida que los servicios de estos capitales (el trabajo) pueden incrementarse y acumularse mediante el mantenimiento ligado a la salud y alimentación, la educación y la instrucción inherente a la formación en el trabajo y el aprendizaje, entre otras actividades. De este modo, las concepciones referidas al trabajo más contemporáneas en el marco de la Economía Neoclásica parecen no olvidar sus orígenes.

3. LA TIERRA Y LOS RECURSOS NATURALES

“La tierra” es entendida por la teoría económica como un término que abarca el mundo natural y se caracteriza por el espacio y los recursos explotables como el suelo, los minerales y los seres vivos (Daly y Cobb, 1993, cap. V). En ese sentido, ella desempeña varias funciones, de las cuales solamente se considerarán dos, a saber¹⁵:

- i) Suelo productivo suministrador de materiales orgánicos e inorgánicos a la agricultura, y
- ii) Espacio escaso para la localización de actividades de producción económica, infraestructura y hogares.

¹⁵ Dado que en este trabajo se estudia el papel de la tierra como factor productivo, se excluirá el tratamiento de dicho elemento como proveedor de valores estéticos y servicios de esparcimiento y deleite (amenidad), así como de depósito de valores y activos monetarios. Para más detalles sobre las funciones o formas en que la tierra puede ser vista desde una perspectiva económica, véase Hubacek y van den Bergh (2006, p. 6).

En la medida que la tierra representa los recursos naturales (materia-energía), vale la pena considerar que los recursos no renovables, como los minerales y los combustibles fósiles más necesarios para las actividades productivas corrientes, se regeneran en una escala de tiempo geológica –no humana–, por lo que su explotación supone que la parte extraída no estará disponible para su aprovechamiento futuro. A diferencia de estos, los recursos renovables, como el agua y los bosques, se regeneran en una escala de tiempo biológica –humana– y, por ende, están dados en cantidades variables que se determinan por la diferencia entre las tasas de reproducción y explotación, las cuales dependen a su vez de aspectos como el clima, la etología (en el caso de los animales) y las costumbres humanas, entre otros.

La importancia de la tierra en la economía ha estado estrechamente asociada a la distinción entre los tres insumos productivos tradicionales (tierra, trabajo y capital), la cual fue fundamental entre los economistas preclásicos y clásicos pero puesta en duda con el surgimiento y consolidación de la teoría neoclásica, dando lugar a una discusión que ha tomado diversos matices en el tiempo y que todavía hoy no termina. Al respecto, en este acápite se estudiarán las etapas más relevantes de dicha discusión.

3.1. RICARDO O LA TIERRA COMO ELEMENTO INERTE Y DE CAPACIDAD PRODUCTIVA DECRECIENTE

El concepto ricardiano de tierra se infiere de su disertación sobre la renta. Éste alude a las “energías originarias e indestructibles del suelo”, con lo que Ricardo (1950, cap. 2) indica que ésta es un elemento fijo que posee un conjunto de propiedades inmutables que le confieren su fertilidad (calidad)¹⁶.

De acuerdo con este autor, la tierra es un elemento de carácter *fijo*, tanto porque su extensión es limitada como por las “energías originarias e indestructibles” que le son propias; de igual modo, se la encuentra en distintas calidades (en virtud de su situación

¹⁶ Georgescu-Roegen (1996, pp. 290, 298) interpreta esta concepción postulando que la tierra ricardiana es un agente de la producción que tiene la particularidad de que entra y sale del proceso productivo sin alterar su cantidad ni calidad y, por lo tanto, es un elemento inerte.

geográfica, climática, etc.), lo que redundaba en una disminución de su capacidad productiva a medida que se emplean los suelos menos fértiles o se usan intensivamente aquellos que están en cultivo (Ricardo, 1950, cap. 2).

Es importante anotar que Ricardo tenía conocimiento de los procesos biofísicos relacionados con la productividad del suelo, tales como la fotosíntesis; sin embargo, su noción de tierra se apoya en un conjunto de supuestos simplificadores que indican el apego de este autor a los desarrollos de la química y la geología previos a su lectura de Adam Smith (Hubacek y van den Bergh, 2006, p. 9). De ahí que, con el término “energías originarias e indestructibles”, el inglés evita dilucidar los factores que explican la fertilidad del suelo y atribuya las diferencias en ésta meramente a discrepancias en la localización.

En síntesis, puede decirse que, para Ricardo, la tierra se caracterizaba por ser inerte y no reproducible, de extensión fija e inalterable, de capacidad productiva decreciente y por encontrársela en diferentes grados de fertilidad (calidad) en correspondencia con su ubicación geográfica.

3.2. LA DISTINCIÓN ENTRE LA TIERRA Y EL CAPITAL: LA ECONOMÍA NEOCLÁSICA

Con el advenimiento de la Revolución Industrial, la economía centró su atención en la industria y se desplazó de un patrón basado en productos agrícolas (principalmente, alimentos y fibras textiles) a otro basado en recursos agotables extraídos de las entrañas de la tierra (minerales y combustibles fósiles).

En concordancia con ello, la tierra pierde su connotación de elemento productivo fundamental y, en tal sentido, se suscita en el interior de la economía una controversia en torno a si constituye un factor de la producción independiente o si, por el contrario, se la puede considerar un componente o clase del capital.

Esta controversia se esbozó en un principio en las proposiciones de algunos de los fundadores de la corriente neoclásica; posteriormente, fue una pieza clave del debate sobre la división tripartita de los factores productivos, y en la actualidad ha sido retomada

en el contexto de la polémica acerca de la sostenibilidad del patrón de crecimiento señalado, que continúa imperando.

La controversia mencionada, a su vez, ha estado influenciada por discusiones sobre el carácter “permanente” o “no permanente”, “original” o “producido”, “fijo” o “expandible” y “producible” o “no producible” de la tierra y, en general, de los recursos naturales. Del mismo modo, ha posibilitado la postulación de nuevas categorías que intentan dar cuenta del papel productivo de los recursos naturales y la energía, así como de sus relaciones con los elementos de la producción que involucran prácticas humanas.

A continuación, se ilustran someramente algunas de las proposiciones mencionadas y los inconclusos debates que alrededor de la categoría tierra se han gestado.

3.2.1. Los referentes de los fundadores

Ciertamente en contraste con el planteamiento ricardiano, se encuentra la noción de Walras de tierra según la cual ésta constituye una forma de capital, denominada capitales de bienes raíces, que posee las siguientes características:

Las tierras son capitales *naturales* y no artificiales y producidos; son también capitales *no perecederos* que no se destruyen con el uso, ni desaparecen debido a accidentes ... podemos, con pequeñas excepciones, considerar las tierras como capitales que no se consumen y como capitales que no se producen. Cada una de estas dos características tiene su importancia; pero es sobre todo su coexistencia la que proporciona a las tierras un carácter propio y particular¹⁷.

Como puede observarse, para este autor, al igual que para Ricardo, la tierra constituye un elemento fijo e inerte que no sufre transformación alguna por las actividades de producción o consumo. Empero, la noción walrasiana tiene sentido sólo si se considera que los usos de la tierra son *urbanos* —es decir, como espacio o soporte para la construcción de edificaciones con fines productivos y de infraestructura—, contrario a la

¹⁷ Walras, Léon. *Op. cit.*, pp. 373-374.

conceptualización ricardiana de tierra para usos *agrícolas* o extracción de recursos. No en vano el francés ha denominado las tierras como *capitales de bienes raíces*.

Lo anterior se ratifica a su vez en la afirmación de Walras según la cual la tierra es constante en una sociedad progresiva que ahorra y forma capital (Walras, 1987, p. 622), en su desinterés en estudiar aspectos del suelo tales como la fertilidad y, en términos generales, en el papel menor que le otorga a la tierra en su análisis de la producción.

Al contrario de la posición walrasiana, que restringe la tierra a un uso muy estricto y la asimila a una forma determinada de capital, se encuentra la definición de Böhm-Bawerk, quien fue el único teórico austríaco que sostuvo que la tierra era un factor productivo independiente (aun cuando su combinación con trabajo acumulado da como resultado los productos intermedios que componen el capital).

Según Böhm-Bawerk (1891, Book II, ch. II), desde el punto de vista *técnico*, la Naturaleza es uno de los dos instrumentos o poderes productivos primarios; no obstante, solamente los objetos que se encuentran en ella en cantidades limitadas revisten interés *económico* y, por tal razón, engloba a estos últimos bajo el nombre de Tierra (con sus actividades y usos), a la que define como la dotación natural específicamente económica del hombre.

Obsérvese que en esta definición se excluyen los objetos de la Naturaleza que, aun cuando co-operan en la producción de bienes que satisfacen necesidades humanas, no revisten interés económico. A estos objetos, Böhm-Bawerk (1891, Book II, ch. II) los considera poderes naturales libres, por oposición a los objetos de la Naturaleza que constituyen instrumentos económicos efectivamente productivos. En ese sentido, este autor efectúa una reducción de los recursos naturales a la categoría tierra similar a la que realiza Menger en relación con el capital¹⁸.

Una postura intermedia entre la de Walras y la de Böhm-Bawerk es la de Marshall (1948, p. 124), quien considera que la tierra es un requisito de la producción que alude a las

¹⁸ Menger (1871) considera que los recursos naturales –y la tierra, en general– son bienes de órdenes superiores que, dependiendo de la relación cuantitativa entre su disponibilidad y las necesidades que con ellos se cubre (es decir, de su carácter de bienes económicos), forman parte del capital.

fuentes permanentes (suelo, ríos, mar, atmósfera) de cosas útiles dadas por la Naturaleza de manera fija y cuya oferta, por ende, no está regulada por el hombre; en contraste, el capital comprende todas las cosas materiales que deben su utilidad al trabajo humano.

De acuerdo con este autor, el atributo fundamental de la tierra que la distingue de los objetos materiales que constituyen productos de ella es su extensión, pues el área de la tierra es fija; también, Marshall (1948, p. 124) le reconoce a este instrumento productivo otras propiedades importantes tales como que su uso es una condición primaria para cualquier acción del hombre.

Así las cosas, puede observarse que el aspecto que distingue la tierra del capital en la concepción marshalliana es que la tierra es fija en tanto que el capital –los productos de la tierra– es producible o reproducible según el deseo o necesidad del hombre; sin embargo, el inglés admite que esta distinción no es exacta, aunque encierra algo de verdad, debido a la facultad del hombre de alterar la naturaleza mecánica y química del suelo a través del trabajo, cuyos resultados quedan en algunos casos incorporados en la tierra y no pueden diferenciarse de aquellos derivados de la Naturaleza (Marshall, 1948, Libro IV, caps. II-III).

De otro lado, para Wicksell la tierra comprende las fuerzas naturales externas al servicio del hombre; no obstante, restringe esta categoría a los recursos naturales renovables e insinúa que los recursos no renovables o “ingredientes” que posee la tierra (por ejemplo, la arcilla) tienen las características del capital (Wicksell, 1929, p. 97).

3.2.2. El debate en Estados Unidos

Los planteamientos de Böhm-Bawerk, Wicksell y Marshall avivaron la discusión sobre el carácter de la tierra y su importancia en la teoría económica. Estos fueron retomados entre fines del siglo XIX y principios del XX por autores norteamericanos tales como Clark (1899) y Fetter, entre otros, dando lugar a una nutrida controversia de la que no se obtuvieron conclusiones definitivas para la teoría económica, pero que alimentan algunos debates vigentes en la actualidad.

Clark (1899) asume que la tierra es un bien de capital que, a diferencia de los restantes bienes de capital, no es perecedero ni cambia sus formas materiales una y otra vez con el fin de que su capacidad productiva permanezca de manera continua. Más allá de la enunciación de estas características, este autor no se preocupa por estudiar la tierra como elemento de la producción y, en cambio, la utiliza como un referente para el estudio de la productividad del trabajo y el capital.

Por su parte, Fetter (1900, 1901 y 1904, citado en Ryan, 2002) criticó los argumentos de Böhm-Bawerk para tratar la tierra como un factor independiente del capital, concluyendo que el austríaco estaba influenciado por una teoría del valor-trabajo que percibía la tierra como un regalo de la naturaleza y al capital como el resultado de la naturaleza.

Asimismo, argumentó que Marshall había confundido los puntos de vista individual vs. social y “estático” vs. “dinámico” en su distinción entre el capital y la tierra. En esencia, Fetter pensaba que era imposible e intrascendente establecer una división práctica entre la tierra y el capital, ya que aquella era reproducible bajo condiciones dinámicas en la misma proporción que éste (Ryan, 2002).

Posteriormente, Knight (1956, citado en Ryan, 2002) retomó las afirmaciones fetterianas y postuló que la tierra (agrícola) es meramente capital¹⁹ ya que presenta una variedad infinita de condiciones relacionadas con su mantenimiento y reemplazo así como posibilidades de incremento en su oferta, igual que cualquier otra clase general de instrumentos de capital; en tal sentido, cabe resaltar que este autor llegó al punto de insinuar que la tierra es producida²⁰.

En otro orden de ideas, Fisher (1911, citado en Ryan, 2002) incluyó la tierra de manera consistente en su definición de capital, concediéndole una categoría especial y resaltando la importancia de su fijeza relativa para propósitos tributarios.

¹⁹ Cabe anotar que la posición de este autor se corresponde con su inclinación a subsumir todos los factores productivos bajo el capital (Hubacek y van den Bergh, 2006, p. 15).

²⁰ “The notion that what are called ‘natural agents’ are not produced is false and reflects a false conception of production.” Knight, Frank. *On the History and Method of Economics: Selected Essays*. Chicago: University of Chicago Press, 1956, p. 54, citado en Ryan, Christopher K. “Harry Gunnison Brown: An Orthodox Economist and His Contributions.” *The American Journal of Economics and Sociology*, Vol. 61, No. 5, December 2002, Supplement, Chapter 2.

Esta postura fue profundizada por Herbert J. Davenport, quien rechazó la clasificación tripartita de los factores productivos estableciendo un paralelo e interrelación entre la división tradicional de los factores y la distinción propia de la ley común (*common-law*) inglesa entre la propiedad real (*realty*) y la propiedad personal (*personalty*). Según el norteamericano, la separación de la tierra del capital era válida desde un punto de vista filosófico, histórico y social amplio; pero inválida para el análisis de la competencia.

Por otra parte, Commons (1900, citado en Ryan, 2002) sostuvo que el suelo constituye capital; empero, no produce ni es producido y más bien constituye una “relación social” similar a los privilegios en relación con los mercados (que no pueden ser duplicados o físicamente depreciados), razón por la cual plantea que la tierra debe ser vista como un factor distinto del capital²¹.

Otro economista que, si bien admitió la dificultad práctica de separar la tierra del capital, abogó por la división clásica de los factores productivos fue Frank W. Taussig (1926). Este autor planteó la existencia de dos tipos de capital, a saber, “capital natural” y “capital artificial”, empleando el primer término para designar la tierra o agentes naturales y el segundo para todos los instrumentos hechos por el hombre (Taussig, 1926, Vol. II, p. 125). Asimismo, consideró que las mejoras verdaderamente permanentes incorporadas en la tierra deben ser tratadas como tierra y su retorno como renta.

Esta última consideración encontró oposición en Harry Gunnison Brown, quien definió la tierra como “espacio de tierra”, incluyendo –al igual que lo hicieron otros economistas, pero sin gran énfasis– los recursos minerales y acuáticos y excluyendo todas las mejoras asociadas con la tierra. Para este autor, la distinción entre el capital y la tierra se basa en la propiedad clave de la no-reproducibilidad del espacio de tierra, que diferencia a la tierra de otros bienes ordinarios (Brown, 1931, citado en Ryan, 2002).

²¹ “If there is a difference between patent right and capital, there is a similar difference between land and capital.” Commons, John. “Review of John Hobson’s *The Economics of Distribution*”. *Annals of the American Academy of Political and Social Sciences*, No. 16, July 1900, p. 135, citado en *Ibid*.

Brown admitió que esta propiedad era compartida por la tierra con los trabajos de arte, el genio inventor y otros ítems. De acuerdo con éste, la reproducibilidad de la tierra era físicamente improbable y, salvo en casos excepcionales, entrañaba costos marginales prohibitivos; de igual modo, intentó integrar su distinción entre tierra y capital en una teoría del valor y de la distribución estableciendo que el retorno al espacio de tierra era sólo superficialmente similar al retorno al “capital hecho”, diferenciándose ambos en el modo como se valoran el capital y la tierra y la creencia de que el capital es un factor derivado.

Toda esta discusión fue aparentemente resuelta adoptándose la idea de que la tierra (y, en general, los recursos naturales) es un factor *no separable* del capital²². De ahí en adelante, la tierra desapareció casi por completo de la teoría de la producción²³, como se corrobora en la observación de que ella no constituye un punto central en la controversia de Cambridge sobre teoría del capital²⁴ al igual que en la ausencia de referencias al tema en libros de texto de microeconomía clásicos tales como los de Ferguson, Henderson y Quandt, Varian (1996), entre otros.

Empero, esta postura fue cuestionada desde fines de la década del sesenta del siglo pasado a raíz de las crecientes manifestaciones de deterioro ambiental, el auge del movimiento conservacionista (que enfatiza en el uso eficiente de los recursos naturales y el crecimiento) y la crisis del petróleo de 1973-74, suscitándose una discusión teórica en el interior de la economía que aún no culmina y que se abordará a continuación.

²² Sin embargo, se conocen dos trabajos contemporáneos en los que se intenta trazar una línea de separación entre la tierra y el capital, a saber: el capítulo de Mason Gaffney “Land as a Distinctive Factor of Production” en *Land and Taxation* (1994) y un estudio sobre la historia del concepto de renta en la tesis doctoral de Terence Dwyer (1980) (Ryan, 2002).

²³ Incluso, algunos economistas contemporáneos consideran que la tierra no es ni siquiera un componente del capital y, por lo tanto, no existe como elemento productivo.

²⁴ Joan Robinson (1960, p. 326) esboza algunas relaciones entre la tierra y el capital que denotan una concepción algo cercana a la de Böhm-Bawerk (1891). Para esta autora, el capital es –a juicio de los humanos– una condición necesaria para que el trabajo y los recursos naturales sean productivos, pero no es un factor de la producción independiente de estos.

Adicionalmente, la inglesa señala que, en el corto plazo, la tierra es un bien de capital (para la producción y el consumo) muy importante cuya reserva, junto con la de los otros bienes de capital en existencia, puede considerarse como catálogo de factores de la producción; en consecuencia, y dado que en este horizonte temporal todos los bienes de capital son igualmente fijos en cantidad, la distinción entre la tierra y los bienes de capital carece de trascendencia. Empero, en el largo plazo, solamente la tierra (recursos naturales) y el trabajo (mano de obra) constituyen los factores productivos de la economía como un todo, en tanto que los bienes de capital y el ritmo de la producción son los medios a través de los cuales estos factores son asignados (Robinson, 1960, pp. 325, 358).

No obstante, estas afirmaciones no calaron entre los teóricos de las escuelas de Cambridge (EE.UU. e Inglaterra) al punto de configurar uno de los ejes de la controversia mencionada.

3.2.3. Polémica Georgescu-Roegen vs. Solow/Stiglitz

La discusión sobre el carácter de la tierra fue retomada nuevamente por Georgescu-Roegen y otros autores en respuesta a los argumentos de Solow (1974a y b) y Stiglitz (1974) acerca de la sostenibilidad del crecimiento económico ante el agotamiento de los recursos naturales. Esta discusión, como se verá, evidencia el contraste entre dos visiones diferentes del proceso económico y de las relaciones de sustituibilidad/complementariedad entre los factores de la producción.

Hacia fines de los años sesenta y principios de los setenta del siglo pasado, Robert Solow y Joseph Stiglitz intentan responder la pregunta “¿cuánta profundización sobre el crecimiento futuro, o incluso sobre la sostenibilidad de la producción corriente actual, podría lograrse disponiendo de manera limitada de recursos naturales y de los *inputs* que estos suministran?” (Solow, 1999a, p. 41).

Con este propósito, Solow (1974a, p. 34) y Stiglitz (1974) enuncian una función de producción de la forma $Q = f(K, L, R)$, donde R : tasa de flujo de los recursos naturales agotables²⁵, con la propiedad de elasticidad de sustitución unitaria entre los factores; asimismo, Solow señala que únicamente vale la pena considerar el caso en el que R es “esencial”, situación que sólo se puede representar mediante una función Cobb-Douglas²⁶.

Para Solow (1974b, p. 2) y Stiglitz (1974), los recursos naturales no renovables constituyen activos de capital para la sociedad que, a diferencia de otros activos, tienen la característica consistente en su no reproducibilidad y, por tanto, en su incapacidad para incrementarse a través del tiempo; en consecuencia, solamente pueden reducirse hasta el agotamiento.

²⁵ Para Stiglitz (1974), R es la tasa de utilización de estos recursos.

²⁶ Sobre este aspecto, Solow (1974a, p. 34) y Dasgupta y Heal (1979, p. 205) observan que si la elasticidad de sustitución entre recursos y otros factores excede la unidad, entonces los recursos naturales no son indispensables para la producción y, al contrario, si la elasticidad de sustitución es menor que uno, entonces el producto promedio de los recursos es limitado; de ahí que esta función sea la única de las de elasticidad de sustitución constante (CES) que expresa el carácter esencial de los recursos naturales.

Otro atributo de la función de producción tipo Cobb-Douglas que favorece su uso por parte del mencionado autor es el tratamiento del progreso tecnológico que permite. Este asunto se abordará en el próximo capítulo.

Al respecto, tanto Solow (1974b, p. 10) como Stiglitz (1974, p. 123) afirman que la seriedad del problema del agotamiento de los recursos depende de modo importante de tres aspectos tecnológicos: la probabilidad de que haya progreso tecnológico (en particular, ahorrador de recursos naturales); la facilidad con la que factores hechos por el hombre (especialmente capital) puedan sustituir los recursos no renovables en la producción, y los rendimientos a escala. En este capítulo se abordarán los últimos aspectos, en tanto que el primero se estudiará en el tercer capítulo.

En cuanto a los rendimientos constantes a escala, cabe resaltar que ya anteriormente Solow, al enunciar el reconocido modelo de crecimiento neoclásico, había señalado que

Esto equivale a suponer que no hay ningún recurso escaso no aumentable, como la tierra. El rendimiento constante a escala parece el supuesto natural a formular en una teoría de crecimiento. El caso de la tierra escasa conduciría a rendimientos decrecientes a escala del capital y la mano de obra²⁷.

Con ello, junto con la no inclusión de la tierra como factor productivo, este autor pone en evidencia la omisión que las primeras teorías modernas del crecimiento económico hacen de los recursos naturales.

Sobre el segundo aspecto tecnológico, Solow (1974a, pp. 36-38; 1974b, p. 11) examina dos casos extremos. En el primero, de acuerdo con este autor, es muy fácil sustituir los recursos naturales agotables por otros factores y, por ende, no habría ningún problema ya que la sociedad podría sobrellevar la carencia de dichos recursos²⁸; en el segundo, el producto por unidad de recursos está efectivamente limitado por la disponibilidad de estos, de manera que el agotamiento conduce a una inevitable catástrofe²⁹.

²⁷ Solow, R. M. "Un modelo de crecimiento". Traducción de Eduardo L. Suárez. En: Sen, Amartya (comp.). *Economía del crecimiento*. México: Fondo de Cultura Económica, 1979, p. 153.

²⁸ Esta situación se representa por los modelos neoclásicos de crecimiento económico en los que la elasticidad de sustitución entre recursos naturales agotables y otros insumos es igual o mayor a la unidad y/o la elasticidad del producto con respecto al capital reproducible excede la elasticidad del producto con respecto a los recursos agotables (e.g., con una función de producción Cobb-Douglas o CES. Véase nota 26. Para más detalles, refiérase también a Dasgupta y Heal, 1979).

²⁹ Esta situación se representa por los modelos de crecimiento agregado que se caracterizan por que los valores de las elasticidades de sustitución y las elasticidades del producto con respecto a cada factor son inversos a los mencionados en la nota anterior, de modo que el producto promedio de los recursos posee un límite (véase nota 26).

Sin embargo, este autor destaca que la poca evidencia disponible sugiere que existe bastante sustituibilidad entre los recursos no renovables y los renovables o reproducibles (Solow, 1974b, p. 11); de esta manera, respalda por la vía de la “evidencia empírica” –exigua, por lo demás– el razonamiento señalado en el primer caso³⁰.

El análisis y la formalización de Solow (1974a y b) y Stiglitz (1974) suscitan la réplica de Nicholas Georgescu-Roegen, quien enfatiza en que los modelos de crecimiento agregado neoclásicos no consideran los recursos naturales dentro del proceso económico y, cuando lo hacen, suponen implícitamente perfecta sustituibilidad entre estos y el capital, a pesar de que en la realidad dichos elementos son complementarios; de ahí que las funciones de producción utilizadas en estos modelos constituyan representaciones inadecuadas del proceso productivo en la medida que violan las leyes de la física (Daly, 1999a, pp. 32-35).

De acuerdo con Georgescu-Roegen, la forma funcional Cobb-Douglas que incorpora los recursos naturales como factor productivo –denominada “variante Solow/Stiglitz” por este autor– expresa una relación inversa entre la disponibilidad de estos y el *stock* de capital reproducible, de modo que un incremento de este último ocurre a expensas de un mayor agotamiento de los recursos naturales, cosa que a juicio del autor en mención constituye una “conjetura truculenta” con la que se muestra un aparente respeto hacia la primera ley de la termodinámica (de equilibrio de la materia) pero no representa fielmente los procesos de producción reales.

Cabe anotar que la característica principal de la “variante Solow/Stiglitz” ya había sido sugerida desde el punto de vista empírico por Charles W. Cobb y Paul H. Douglas, pues estos autores concluyeron el artículo en el que formulan la función de producción denominada con sus apellidos expresando su deseo de incluir en ella los recursos naturales con el fin de analizar las consecuencias que esto tendría sobre sus postulados y la teoría de la distribución³¹. En este sentido, puede considerarse que dicha variante es

³⁰ En la misma dirección, Dasgupta y Heal (1979, p. 205) señalan que la superioridad de la elasticidad del producto respecto al capital reproducible en relación con la elasticidad respecto a los recursos agotables es “... presumiblemente la suposición más educada hoy en día”.

³¹ “We should ultimately look forward toward including the third factor of natural resources in our equations and of seeing to what degree this modifies our conclusions and what light it throws upon the laws of rent.” Cobb,

una continuación del análisis de Cobb y Douglas, si bien en otro contexto (teoría del crecimiento sostenible).

Georgescu-Roegen (1994, pp. 163-168; 1996, cap. IX) introduce los recursos naturales en su representación analítica del proceso de producción³² como un elemento separado de la tierra (ricardiana); específicamente, concibe ésta como un “fondo”, es decir, un agente de rendimiento constante que tiene el papel de transformar los “flujos”, uno de los cuales consiste en los recursos naturales. Con base en ello, enfatiza en que la producción es un proceso esencialmente dialéctico que no puede ser caracterizado de manera aritmomórfica mediante la función postulada por Wicksteed o afines ni por curvas isocuantas de sustitución entre factores.

El debate propuesto por Georgescu-Roegen no tuvo respuesta durante más de veinte años por parte de Solow y Stiglitz ni de sus colegas. No obstante, a fines de los años ochenta, Herman E. Daly retoma la polémica entre Georgescu-Roegen y Solow/Stiglitz y argumenta al respecto que el concepto de capital enunciado por la teoría neoclásica sólo toma en cuenta objetos hechos por el hombre (por ejemplo, máquinas y edificaciones) e ignora los recursos naturales y la energía; por tal razón, este autor llama al primero “capital artificial” o “capital hecho por el hombre” y denota la incidencia de las existencias físicas que alimentan el flujo de recursos naturales con el nombre de “capital natural” (Daly, 1994).

De lo anterior se colige que Daly (1994, 1999a) y, en general, los economistas ambientales y ecológicos parecen retomar la enunciación de las categorías capital natural y capital hecho por el hombre por parte de Taussig y Brown en el contexto de la discusión sobre la taxonomía de los factores productivos y la relevancia de la tierra y el capital en la teoría económica, al igual que el difuso consenso de los años treinta en torno a incluir la tierra como parte del capital con el que dicha polémica culminó³³.

Charles W. and Douglas, Paul H. “A Theory of Production”. *The American Economic Review*, Vol. 18, Issue 1, March 1928, p. 165.

³² Georgescu-Roegen representa analíticamente la producción como una relación entre un conjunto de funciones y una función –lo que en jerga matemática se denomina un *funcional*–, en la que las primeras indican las cantidades acumulativas de los distintos flujos o de los servicios proporcionados por los fondos.

³³ Sobre este particular, bien vale la pena citar a El Serafy (1991, pp. 168-169), uno de los economistas contemporáneos más influyentes que ha abordado la teoría y la medición de los recursos naturales y el medio

Así las cosas, puede decirse que la introducción de las categorías capital natural y capital artificial no es novedosa en la teoría económica, si bien resulta refrescante la distinción asociada a esta conceptualización en el interior de la categoría general de capital toda vez que pone de relieve la supresión de que han sido objeto los recursos naturales y la energía en el tratamiento de la producción.

Pero esta vez Daly obtiene una respuesta de Solow y Stiglitz, quienes arguyen que Georgescu-Roegen y Daly (1994, 1999a) no comprenden algunos conceptos fundamentales del modelo neoclásico, como la diferencia entre sustitutos y complementos (Solow, 1999a, pp. 41-42)³⁴. Al respecto, Stiglitz (1999, pp. 45-46) afirma que en el horizonte temporal de los modelos de crecimiento neoclásicos –aparentemente, infinito; empero, según él, de aproximadamente 50 a 60 años– el capital puede ser sustituto de los recursos naturales, aun cuando el capital mismo usa recursos³⁵, y destaca que estos últimos constituyen bienes como cualesquiera otros que participan en los mercados, pero cuyas “especificidades” (léase, las externalidades y/o el carácter de bien público asociado a algunos de ellos) distorsionan el funcionamiento adecuado de los intercambios mercantiles.

Ante estas afirmaciones, Daly (1999b, p. 47) contraargumenta que en el horizonte temporal intermedio señalado se producirá el agotamiento de los combustibles fósiles, por lo que la dependencia energética del sistema económico se tendrá que desplazar desde los energéticos terrestres a la energía solar de baja entropía, o sea, que habrá una

ambiente como capital. De acuerdo con este autor, “The capital of an economy is its stock of real goods, with power of producing further goods (or utilities) in the future... Viewed as such, capital would comprise land, considered in classical economic thinking as a separate factor of production. Land would qualify as part of the stock of real goods, capable of producing further goods.”

³⁴ Sin embargo, Daly (1994, pie de página 2) demuestra entender la diferencia entre las definiciones usuales de sustituibilidad y complementariedad así como que los modelos con sólo dos factores productivos enfatizan en la sustituibilidad y excluyen efectivamente la complementariedad. Este último aspecto se estudiará luego.

³⁵ Esta afirmación encuentra ciertamente apoyo previo en una observación que hace Solow (1974b, p. 7) acerca de la regla de Hotelling de acuerdo con la cual la asignación intertemporal mediante equilibrio competitivo de los recursos no renovables se extiende hasta el infinito, aun cuando dicho equilibrio entrañe el agotamiento de los recursos en un tiempo finito (pues, más allá del momento del agotamiento, hay un equilibrio en el que las cantidades ofrecidas y demandadas se igualan a cero a un precio simultáneamente tan alto que la demanda se frena y tan pequeño que los explotadores de los recursos pierden interés en guardar existencias remanentes de estos durante algún tiempo).

Incluso, el mismo autor se ratifica desde el punto de vista empírico precisando que la observación anterior es válida desde la perspectiva del razonamiento matemático, que adopta intervalos temporales interminables, pero no en la vida real –en el sistema solar–, que se desenvuelve y durará un tiempo determinado (p. 11).

sustitución entre recursos naturales, y no entre un elemento natural y otro hecho por el hombre³⁶. De otro lado, este autor esboza implícitamente que no todos los recursos naturales están sujetos a las especificidades mencionadas en la medida que distingue entre capital natural comercializable, el cual puede dejarse dentro del mercado sujeto a importantes correcciones sociales para tener en cuenta su cualidad de propiedad común e, incluso, el descuento intergeneracional, y capital natural no comercializable, que constituye un problema mayor debido a que no tiene dueño y, por tanto, se lo explota asumiendo que su precio es cero³⁷ (Daly, 1994, pp. 62-63).

Así las cosas, en esta discusión subyacen algunas interpretaciones un poco distorsionadas de los planteamientos de Solow (1974a y b) y Stiglitz (1974) por parte de Georgescu-Roegen y sus seguidores. Asimismo, tal y como lo señala Solow (1999a, p. 42), se aprecian dos visiones diferentes sobre las relaciones entre los factores de la producción: de un lado, las nociones de bienes sustitutos o complementarios (atravesadas críticamente, a su vez, por las categorías de mercado y precios relativos) propias de la corriente neoclásica representada por Solow y Stiglitz; de otro lado, la sustituibilidad o complementariedad entre factores (basada en el cuestionamiento a los postulados usuales; pero, además, en consideraciones biofísicas y termodinámicas) que enarbolan Georgescu-Roegen y los economistas ecológicos. Al finalizar este capítulo, se profundizará en la última visión.

4. EL CAPITAL COMO SÍNTESIS DE LAS RELACIONES ENTRE LOS FACTORES EN LAS CONCEPCIONES SOBRE LA PRODUCCIÓN Y EL CRECIMIENTO

El concepto de capital es central para el análisis teórico de la producción y el crecimiento económico. Sin embargo, su centralidad no ha evitado el desarrollo y persistencia de sustanciales desacuerdos en relación con su significado e importancia, particularmente entre los economistas neoclásicos. En ese sentido, los diferentes puntos de vista sobre el

³⁶ En tal sentido, el planteamiento de Daly se acerca al de Solow (1974b) y Stiglitz (1974) ya que estos últimos se refieren a la sustitución entre recursos agotables y capital reproducible.

³⁷ Obsérvese que esta interpelación se enmarca dentro de la más pura ortodoxia económica, toda vez que su distinción entre capital natural comercializable y no comercializable está determinada por la definición de derechos de propiedad sobre los recursos aludidos, lo que le permite a Daly razonar dentro de los mismos cánones analíticos que Stiglitz.

capital reflejan en buena medida diversas aproximaciones a los objetos de estudio de la teoría económica señalados anteriormente.

Considerado como un factor productivo, se denomina “capital” al conjunto de diferentes bienes de capital, los cuales consisten a su vez en bienes producidos que se requieren para la producción, es decir, medios de producción producidos que se caracterizan por su heterogeneidad, especificidad técnica y capacidad de contribuir a la producción de elementos económicamente deseables.

Desde el punto de vista teórico, ha habido un número no despreciable de controversias en torno al capital, algunas de las cuales se relacionan con la división tripartita de los factores productivos; su carácter de flujo, fondo o existencia; su propiedad y los tipos de remuneración a que da lugar (renta, beneficios o interés) y, más importante aún y como se verá más adelante, su concepción “física” (que alude a bienes o recursos específicos) y/o “financiera” (monetaria).

En cuanto a este último aspecto, cabe precisar que, tal como lo señalan Soddy (1995) y Martínez Alier y Schlüpmann (1991, p. 158), las convenciones humanas han dado lugar a la confusión entre capital y deuda; de modo que el sistema económico vigente se rige por una concepción en la que el capital es registrado y contabilizado como créditos que se acumulan ficticiamente *ad infinitum* en virtud del interés compuesto. En esta sección se intentará demostrar que dicha confusión ha sido avalada y propiciada por la teoría económica, incluso en las versiones de aquellas corrientes que se preocupan por la naturaleza y la energía.

4.1. LOS FUNDADORES Y LOS FUNDAMENTOS DE LAS CONCEPCIONES Y DISCUSIONES ECONÓMICAS SOBRE EL CAPITAL

Si bien la categoría capital ha ocupado un papel central en el desenvolvimiento de la teoría económica moderna, las diversas concepciones que se tienen sobre la misma han dado lugar a sustanciales y persistentes desacuerdos que han servido a su vez para delimitar y caracterizar las distintas corrientes de pensamiento que engloba dicha teoría.

Es así como para Walras (1987) la riqueza social está constituida por *capitales* y *rentas*, los cuales caracteriza en función de la duración a lo largo de sucesivos usos tanto productivos como consuntivos:

Llamo ... *capital fijo* o *capital* en general, a todo bien duradero, a todas las formas de riqueza social que no se consumen en forma instantánea o que se consumen sólo a la larga; es decir, a toda aquella utilidad limitada en cantidad que sobrevive al primer uso que se hace de ella, en una palabra que puede usarse más de una vez, como una casa o un mueble. Y llamo *capital circulante* o *renta* a todos los bienes fungibles o no duraderos, a todas las formas de riqueza social que se consumen inmediatamente, a toda cosa escasa que no subsiste tras el primer servicio que proporciona, en resumen que sólo puede usarse una vez, como el pan o la carne. Entre estas rentas figuran, junto a los objetos de consumo privado, las materias primas de la agricultura y de la industria: semillas, fibras textiles, etc. La duración de que aquí hablamos no es, en efecto, la duración material, sino la duración de uso o económica³⁸.

Siguiendo con su argumentación, este autor denomina con el nombre de *servicios* a las rentas que surgen de la utilización de los capitales en usos particulares, clasificándolos en servicios de consumo, que son absorbidos en su forma original por el consumo público o privado, y servicios productivos, que son transformados por las diferentes actividades productivas (agricultura, industria, comercio) en productos y, por ende, en rentas o en capitales (Walras, 1987, pp. 370-371).

Teniendo en cuenta lo anterior, Walras (1987, pp. 371-373) distribuye la riqueza social en cuatro categorías, de las cuales asigna tres a los capitales y una a las rentas. De esta manera, engloba dentro de los capitales a las tierras (capitales de bienes raíces), cuyos servicios constituyen las rentas; las personas (capitales personales), cuyos servicios constituyen el trabajo, y todos los activos restantes (capitales productores de rentas o capitales propiamente dichos), que proporcionan servicios de capital (*profits*). Por otra parte, incluye dentro de las rentas a las materias primas y los bienes de consumo.

³⁸ Walras, Léon. *Op. cit.*, pp. 368-369.

Así las cosas, Walras puntualiza que los factores de producción corresponden a los tres tipos de capital y sus respectivos servicios, pasando a continuación a describir sus características distintivas –que en el caso de la tierra y el trabajo ya se han mencionado– y que para el factor productivo capital atienden a las siguientes palabras:

Los bienes de capital son capitales *artificiales* o producidos y son perecederos. Pueden quizá citarse algunos activos de capital, aparte de las tierras y los hombres, que son activos naturales, por ejemplo, ciertos árboles y animales; pero sería difícil encontrar alguno que no fuese perecedero. Se destruyen y desaparecen como las personas; pero reaparecen al igual que éstas no como resultado de la reproducción natural, sino de la producción económica. Su cantidad es, por tanto, como la de personas, susceptible de crecer indefinidamente bajo determinadas condiciones ... Los bienes de capital siempre se encuentran asociados con la tierra, en la industria y, sobre todo, en la industria agrícola³⁹.

De lo expresado en la anterior cita, puede observarse que este autor, si bien plantea que el factor productivo capital está constituido por bienes hechos por el hombre, reconoce la existencia de un “capital natural” diferente de la tierra y las personas; pero aclara que el carácter de factor de producción de dicho capital está determinado por su reproducción económica (a través de cultivos, crías, entre otras) y no por su reproducción natural, con lo que lo ciñe a las actividades agropecuarias. Asimismo, enfatiza en que los bienes de capital se utilizan en conexión con la tierra para fines productivos.

Una concepción sobre el capital diferente de la de Walras es la esbozada por Jevons (1911, ch. VII), quien admite estar en fundamental acuerdo con Ricardo en el sentido de considerar que el capital es el adelanto de subsistencia a los trabajadores⁴⁰ y que no se puede establecer con precisión una línea divisoria entre el capital fijo y el capital circulante, pues la diferencia entre ambas clases depende de la durabilidad (siendo más circulante el capital menos durable y más fijo el capital más durable).

³⁹ Walras, Léon. *Ibid.*, § 174-176, pp. 373-375.

⁴⁰ “Capital, as I regard it, consists merely in the *aggregate of those commodities which are required for sustaining labourers of any kind or class engaged in work.*” Jevons, W. Stanley. *The Theory of Political Economy*. Fourth edition. London: Macmillan, 1911, p. 223.

Esta noción del capital como *adelanto* comporta una dimensión temporal relacionada con el periodo sobre el cual se hace el adelanto o periodo de producción (como se le ha denominado posteriormente), es decir, entre el momento en que se efectúa el trabajo y aquel en que se alcanza su propósito final. En ese sentido, de acuerdo con Dobb (1981, p. 205), la posibilidad de prolongar el promedio de dicho periodo no sólo es tratada por Jevons como una de las funciones del capital, sino como la única⁴¹.

Según el autor en mención, la prolongación del periodo de producción constituye una mejora que incrementa la productividad, de lo que se deduce que el capital tiene dos dimensiones: por una parte, está la cantidad de trabajo invertido (es decir, un día de trabajo en una determinada fecha) y, por otra parte, está el lapso de tiempo durante el cual el trabajo invertido es adelantado (por ejemplo, durante un año o varios años o sólo durante un mes). Al producto de estas dos dimensiones, Jevons las denomina la *cantidad de la inversión del capital*, por contraste con la *cantidad de capital invertida* (Jevons, 1911, ch. VII)⁴².

Obsérvese que en esta conceptualización del capital, Jevons ignora por completo los recursos naturales y energéticos, incluso en su atributo de materias primas. Ello desentona con su insistencia previa en la importancia del carbón como la fuente de energía que conduce la revolución industrial y con la comprensión que manifiesta en cuanto a que este recurso constituye energía almacenada que impone límites estrictos sobre las actividades industriales (Jevons, 1865).

Una postura que le atribuye a todos los elementos productivos el carácter de capital a la vez que una dimensión temporal a éste y a la producción es la de Menger. Este autor clasifica los bienes como de primer, segundo, tercer y sucesivos órdenes superiores, de acuerdo con su relación causal con la satisfacción de necesidades humanas, esto es, si los bienes satisfacen dichas necesidades de manera inmediata (de primer orden) o

⁴¹ "The *current means of sustenance constitute capital in its free or uninvested form*. The single and all-important function of capital is to enable the labourer to await the result of any long-lasting work, –to put an interval between the beginning and the end of an enterprise ... Capital simply allows us to *expend labour in advance*." Jevons, W. Stanley. *Ibid.*, pp. 223-226.

⁴² En este punto, se acudió a la interpretación de Dobb (1981, pp. 205-206), la cual, pese a que reemplaza la noción jevoniana de "cantidad de capital invertida" por "cantidad de trabajo invertido", se ajusta notablemente al planteamiento de este autor ya que su definición de "cantidad de capital invertida" se refiere exclusivamente a la cantidad de capital y la definición de capital, como se ha visto, involucra un compromiso con el trabajo.

mediata (de orden superior) (Menger, 1871, cap. I, § 2). Así, los bienes de primer orden son bienes de consumo y los bienes de órdenes superiores se componen de medios de producción y, en general, de todos aquellos bienes que contribuyen a la producción de bienes de primer orden mediante la conexión con otros bienes de estos órdenes (Menger, 1871, cap. III, pie de página 13).

Asimismo, el austríaco plantea el concepto de bienes complementarios en el sentido de que la disposición simultánea de estos bienes (del mismo orden) por parte del hombre condiciona la cualidad de bien de los bienes de un determinado orden superior respecto de la producción de un bien de primer orden (Menger, 1871, cap. I, § 3a)).

En ese sentido, Menger (1871, cap. III, pie de página 11) sostiene que el capital consiste en aquellas cantidades de bienes económicos⁴³ de órdenes superiores (así como las cantidades de bienes complementarios de los mismos órdenes) de las que se dispone dentro de unos periodos de tiempo dados y que proveen una satisfacción de necesidades futuras mediante su transformación, durante dichos periodos, en bienes de primer orden.

Luego, este autor incluye dentro del capital todas las acciones humanas útiles que configuran la capacidad de trabajo al igual que las fuerzas de la naturaleza en tanto que sean bienes económicos y se disponga de ellas simultáneamente y en conjunto con sus respectivos bienes complementarios. De suerte que puede decirse que Menger, al igual que Walras, considera que todos los llamados factores productivos son capital.

No obstante, Menger (1871, cap. I, § 4) advierte que, aun cuando los bienes de orden superior –y, entre ellos, los que conforman el capital– son los elementos más importantes del proceso productivo, no constituyen la totalidad del mismo toda vez que existen otros elementos que actúan sobre la cualidad y cantidad del producto cuya influencia es aún poco conocida o escapa al control humano, entre los cuales menciona las condiciones químicas del suelo y los cambios climáticos.

⁴³ Para Menger, los bienes económicos son aquellos cuya cantidad disponible es inferior a la necesidad que de ellos se tiene. Al respecto, vale la pena anotar que la relación cuantitativa explícita en esta noción anticipa el concepto de escasez que predomina en la caracterización económica de los bienes y que ya se ha mencionado (véase la sección 2 del primer capítulo).

De este modo, puede colegirse que Menger, si bien no lo señala de manera explícita, le otorga el papel de bienes de orden superior a los recursos naturales y la energía (sean bienes económicos o no y, en consecuencia, capital) en el proceso de producción y reconoce que las leyes de la termodinámica configuran un aspecto inexorable de dicho proceso causal.

Al respecto, es importante resaltar la coincidencia de esta posición con la concepción esbozada por el químico inglés Frederick Soddy, para quien el capital es la energía solar acumulada en la forma de combustibles fósiles durante millones de años y que sustenta el uso laboral⁴⁴ para la fabricación de productos (Soddy, 1995) al constituirse en un fluido indispensable para la operación de los llamados bienes de capital.

En este contexto, la estrecha relación que desde el punto de vista físico se presenta entre los medios de producción y la energía evidencia el carácter de bienes complementarios de estos elementos productivos; de igual modo, la imposibilidad de almacenar energía a medida que se la utiliza en virtud de la ley de Entropía (que determina la continua degradación de ésta en términos físicos) refuerza la advertencia efectuada por Menger sobre la influencia en la producción de elementos no controlables por el hombre.

Retomando ciertamente los enunciados de Menger, Böhm-Bawerk (1891) plantea que el capital denota un conjunto de productos que sirven como medios para la adquisición de bienes, distinguiendo al respecto entre una concepción amplia y una concepción estrecha a las que denomina Capital Adquisitivo (Capital Privado) y Capital Productivo (Capital Social), respectivamente (Böhm-Bawerk, 1891, Book I, ch. IV).

En tal sentido, Böhm-Bawerk (1891, Book I) enfatiza en que el Capital Social tiene sentido en la medida que la adquisición es sólo posible a través de la *producción* y abarca aquellos productos destinados a servir en la elaboración de más bienes, en otras palabras, los “productos intermedios” que completan la tríada de instrumentos de la producción económica (Naturaleza, Trabajo y Capital), a saber:

⁴⁴ Este autor define el uso laboral de energía (inanimada) como el uso consciente que se hace de la misma dirigido al trabajo externo.

1. Las mejoras productivas, los arreglos y las disposiciones de la tierra, en la medida en que éstas conservan un carácter independiente y no se han incorporado en la tierra.
2. Edificaciones productivas de todas las clases (talleres, fábricas, bodegas, granjas, almacenes, calles, vías férreas, etc.).
3. Herramientas, máquinas y otros utensilios productivos.
4. Animales de trabajo o de reproducción empleados en la producción.
5. Las materias primas y auxiliares de la producción.
6. Bienes de consumo final en manos de productores y comerciantes como inventarios.
7. Dinero.

De otro lado, el Capital Privado comprende aquellos “productos que sirven a fines adquisitivos” y constituyen la fuente del interés, siendo estudiados por la teoría de la determinación del ingreso en tanto son fuente de la adquisición económica de bienes por parte de los individuos en la tríada Renta de la tierra, Salario del trabajo e Interés del capital. Estos productos son:

1. Todos los bienes que forman el Capital Social.
2. Aquellos bienes de consumo que sus poseedores no usan para sí mismos, sino que emplean mediante el intercambio (venta, contrato, préstamo) en la adquisición de otros bienes, e.g. bibliotecas con préstamo, medios de subsistencia adelantados por los empresarios a sus trabajadores, entre muchos otros.

Obsérvese que este autor excluye del Capital Productivo los adelantos para el sostenimiento de los trabajadores, incluyéndolos en el Capital Adquisitivo debido a que los considera “medios de consumo” para la satisfacción inmediata de los deseos de la sociedad y no “medios de producción”⁴⁵.

De la misma manera, Böhm-Bawerk (1891, Book I, ch. VI) elimina del capital, en cualquiera de los ítems que lo componen, aspectos intangibles como el *goodwill* de las

⁴⁵ Incluso, el austríaco argumenta que aquellos economistas que han planteado lo contrario ven en los trabajadores máquinas de producción y no miembros de la sociedad civil (en cuyo interés se desarrollan el comercio y la industria), por lo que asimilan tales adelantos a la alimentación de las bestias de carga y la inyección de combustible a los hornos.

empresas, la propiedad intelectual, las relaciones comerciales, entre otros, en razón a que no los considera bienes reales.

A pesar de lo anterior, es necesario enfatizar en que, como se ha dicho previamente, para este autor los elementos o poderes productivos verdaderos son los de la Naturaleza y el Trabajo y, en ese contexto, el Capital es un producto intermedio resultante de la cooperación de estos, el medio a través del cual *ambos* ejercen su carácter instrumental (*instrumentality*). Por esta razón, su productividad no es *independiente* de la capacidad productiva de los dos poderes mencionados (Böhm-Bawerk, 1871, Book II, ch. III).

En ese sentido, cabe resaltar la preponderancia que el austríaco le otorga al trabajo y la naturaleza en tanto poderes productivos primarios y su concepción del capital como el elemento (secundario) que permite poner en marcha dichos poderes. Similarmente, las semejanzas entre las formulaciones de Böhm-Bawerk y Menger referentes a que sus nociones de capital y de producción están indisolublemente ligadas al tiempo.

Las apreciaciones de Böhm-Bawerk encuentran apoyo en Wicksell (1929, Libro Primero, Parte Segunda), para quien el capital es una categoría especial de medios de producción que representa los servicios prestados conjuntamente por la tierra y el trabajo acumulados en *años anteriores*⁴⁶, durante los cuales estos servicios han adoptado formas más elaboradas que les permiten alcanzar una eficiencia mayor para ciertos fines productivos⁴⁷.

Para este autor, el capital comprende todo cuanto coopera en la producción, exceptuando las fuerzas naturales y el trabajo humano –que conforman la tierra y el trabajo, respectivamente– empleados de manera directa en la producción de bienes de

⁴⁶ “... el capital, a diferencia del trabajo y la tierra, no es un factor *originario* de la producción que exista independientemente (...) o como antecedente de la producción. Su origen y mantenimiento presupone inevitablemente que la producción se realiza”. Wicksell, Knut. *Lecciones de Economía Política*. Traducción de Francisco Sánchez Ramos. Madrid: Aguilar, 1947, p. 181.

⁴⁷ Esta concepción de capital se relaciona con la noción de producción capitalista esbozada por Böhm-Bawerk y sus ventajas. Para este autor, la producción capitalista consiste en el empleo de métodos indirectos, en los que se obtiene el bien deseado mediante la elaboración y disposición previa de otros bienes que contribuyen a la producción de aquel y que constituyen el Capital Social en un sentido económico. Esta producción ofrece la posibilidad de realizar más o mejores bienes a partir de un conjunto dado de poderes productivos primarios; pero, de otro lado, implica un mayor sacrificio de tiempo en comparación con los métodos directos (Böhm-Bawerk, 1891, Book II, ch. II).

consumo. Así las cosas, el capital abarca los edificios y construcciones en las que se realizan los trabajos o que son indispensables para llevar a cabo las actividades económicas; las herramientas, útiles y maquinaria necesarias para realizar la producción; los animales domésticos (en especial, el ganado); las materias primas que se elaboran, y, por último, los alimentos y otros productos reservados o dispuestos para el consumo con el fin de que la mano de obra cuente con medios de subsistencia durante el periodo de producción (Wicksell, 1929, p. 130).

De acuerdo con el sueco, estos elementos tienen dos características en común que los diferencian de la tierra y el trabajo, a saber:

- En primer lugar, representan ciertas cantidades de valor de cambio, de modo que pueden considerarse colectivamente como una simple suma de valores, un cierto volumen de medios de cambio; es decir, dinero.
- En segundo lugar, que son por sí mismos *productos*. En tal sentido, el sueco considera bastante acertada la definición corriente en aquella época según la cual el capital es un conjunto de medios de producción producidos

(Wicksell, 1929, pp. 130-131).

De esta manera, puede decirse que para Wicksell el capital posee una doble connotación: de un lado, una concepción monetaria referida a la agregación del capital como total de valores y, de otro lado, una concepción física que alude a la composición del capital por productos. Con ello, este autor esboza el germen del principio de capital maleable al igual que el de la controversia de Cambridge acerca de la definición y medición de los agregados de capital, aspectos estos que se abordarán más adelante.

Por último, vale la pena señalar que, para este autor, el capital es absolutamente necesario para toda producción –con excepción de las formas más primitivas (por ejemplo, la recogida de frutos silvestres)–, dando lugar su ausencia a un producto casi insignificante (Wicksell, 1929, Libro Primero, Parte Segunda).

La doble connotación wickselliana del capital esbozada anteriormente es acentuada y fusionada por Clark (1899), quien postula que el capital es un fondo permanente de valor o riqueza productiva abstracta (dinero) susceptible de ser utilizado para los fines de

cualquier actividad económica indistintamente y sin costo en la medida que puede cambiar sus formas de incorporación en los bienes de capital de manera ilimitada⁴⁸.

De acuerdo con este autor, el capital se compone de instrumentos de producción concretos y materiales, los bienes de capital, que se destruyen y transmutan en otros bienes confiriéndole al capital sus atributos distintivos, a saber, la permanencia y la movilidad, si bien los bienes de capital no gozan en general de estas propiedades (Clark, 1899, ch. IX).

En vista de la ausencia de movilidad de los bienes de capital, Clark (1899, ch. X) reconoce que estos no son circulantes; sin embargo, acoge la distinción común para la época y clasifica el capital como fijo o circulante atendiendo a la manera en que los bienes de capital ayudan a la producción y, por ende, encarnan las características señaladas.

Así, los elementos que encarnan el capital fijo –como los edificios y las herramientas– contribuyen a ajustar la materia suministrada por la naturaleza para el uso, llevando a cabo una función activa toda vez que imparten utilidad a otros objetos; de otro lado, los elementos que encarnan el capital circulante –como las materias primas y los bienes no terminados– son materiales mecánicamente pasivos sobre los cuales operan los implementos, recibiendo utilidad y siendo objeto de modificación.

En concordancia con lo anterior, el estadounidense distingue entre bienes de capital activos y bienes de capital pasivos, señalando que los primeros (valga decir, los bienes que encarnan capital fijo) pueden ser usados repetidamente sin cambios en su condición, mientras que los segundos (aquellos que encarnan capital circulante) pueden cambiar su *status* económico con el uso (Clark, 1899, ch. X).

En ese sentido, cabe resaltar que este autor concibe la producción como un proceso de transformación de la naturaleza en el que ésta desempeña un papel pasivo, lo que ciertamente se contradice con la asunción de Clark señalada en la sección anterior de

⁴⁸ "... the thing described by the term, capital, will be what a business man understands by that word. It is a permanent fund of productive wealth, and is what is commonly meant by 'money' invested in productive goods, the identity of which is forever changing." Clark, John Bates. *The Distribution of Wealth: A Theory of Wages, Interest and Profits*. 1899, chapter XI.

acuerdo con la cual la tierra constituye un bien de capital activo que, a diferencia de los restantes bienes de capital, no es perecedero ni cambia sus formas materiales con el objeto de mantener indefinidamente la capacidad productiva del capital.

De la misma manera, la concepción de capital de Clark ha contribuido a sustentar la idea de los economistas neoclásicos según la cual el capital puede ser tratado como un único bien homogéneo que puede tomar mil formas con miras a mil usos, influyendo por tanto en la configuración de la hipótesis de maleabilidad del capital al igual que de las múltiples nociones en que se ha dividido la categoría capital en el tiempo, entre las que se incluyen las de capital humano y capital natural.

Es así como las concepciones de Clark (1899) fueron continuadas posteriormente por Irving Fisher y, de modo más explícito, por Frank Knight, quien enfatiza en el aspecto dinerario o de riqueza productiva abstracta, dejando a un lado el concerniente a los bienes de capital. De esta manera, el “capital” comenzó a considerarse cada vez más como una masa homogénea creada mediante decisiones de ahorro que puede ser invertida en una industria y transferida a otra, llegando ésta a convertirse en la noción dominante (Hennings, 1987, p. 330).

Similarmente, como consecuencia de lo anterior, los factores productivos fueron reducidos posteriormente a uno sólo: el capital. Así las cosas, la trinidad de los factores comenzó a concebirse por algunos autores como arbitraria pues, según estos, si todos los bienes o recursos que intervienen en la producción son homogéneos y no se distinguen los unos de los otros, entonces no se justifica dividirlos.

En tal sentido, puede entenderse la subsunción del trabajo a la categoría “capital humano” y su diferenciación respecto del “capital físico” que ha efectuado la corriente económica dominante en las últimas décadas; asimismo, la acepción que los economistas ambientales y ecológicos dan a la tierra al incluirla en el “capital natural”, distinguible del “capital artificial” o “hecho por el hombre”, en sus posturas acerca de la sostenibilidad del crecimiento económico, tal como se ha visto y se profundizará a continuación.

4.2. LA “CONTROVERSIA DE CAMBRIDGE” SOBRE TEORÍA DEL CAPITAL Y SU RELACIÓN CON EL ENTORNO NATURAL

La teoría del capital cobró importancia en el periodo posterior a la Segunda Guerra Mundial, cuando el interés por las causas y consecuencias del crecimiento económico y por la evaluación de los cambios en la distribución del ingreso a través del tiempo condujeron al análisis de problemas como la elección entre técnicas alternativas en la toma de decisiones de inversión, las participaciones distributivas y las estimaciones de las contribuciones del progreso tecnológico y la acumulación de capital al crecimiento del producto *per capita* (Harcourt y Laing, 1977, pp. 7-8; Harcourt, 1975, p. 11).

Los economistas neoclásicos, principalmente del Instituto Tecnológico de Massachussets, sostuvieron que algunas verdades fundamentales concernientes a la teoría del capital pueden transmitirse a través de parábolas sencillas basadas en modelos de una sola mercancía de mil usos, aun cuando resulta esencial para un desarrollo riguroso de esta teoría el análisis mediante el empleo de las técnicas modernas de programación (Harcourt y Laing, 1977, p. 19).

Esta postura, al igual que las parábolas enunciadas por estos economistas, fueron cuestionadas por los economistas postkeynesianos de la Universidad de Cambridge, dando lugar a fuertes e inconclusos debates que configuraron lo que hoy se conoce como “controversia de Cambridge” sobre teoría del capital. Algunas de las críticas de estos últimos economistas tienen que ver con el hecho de que las parábolas señaladas han servido en parte para justificar el supuesto metodológico empleado en los estudios econométricos consistente en que las observaciones provienen de mundos en los que sólo se produce la mercancía indicada.

Atendiendo a los propósitos de este trabajo, se esboza seguidamente el planteamiento básico de algunas de las parábolas más importantes, a saber, las hipótesis de maleabilidad y progreso tecnológico incorporado en el capital y la función de producción sustituta; en ese sentido, se argumenta que las dos últimas parábolas mencionadas no son más que expresiones de la primera. Similarmente, se insinúa que la enunciación de la

categoría “capital natural” constituye un artificio teórico que conlleva someter la naturaleza a la lógica propia del supuesto de maleabilidad aludido.

4.2.1. En torno a la hipótesis de maleabilidad ...

La hipótesis de maleabilidad postula que el acervo de capital está constituido por un bien físico que tiene la propiedad de que puede transformarse sin costo, ni dolor, ni tiempo en cualquier cosa que se desee, incluso en el propio conjunto de la producción. A este material homogéneo e indestructible los economistas neoclásicos lo llaman de diferentes maneras: acero, piezas de *meccano*, jalea, ectoplasma, entre otros⁴⁹.

Una consecuencia derivada de asumir esta hipótesis es que tanto el producto total como el capital se conciben como una mercancía polivalente del tipo Clark-Ramsey⁵⁰. Esta mercancía posee dos atributos importantes, a saber: como producto, es un flujo que puede ser consumido o ahorrado (y, por ende, invertido) de manera indistinta –de hecho, perfectamente sustituta– y, como capital, constituye un acervo que puede medirse en términos de su propia unidad física (Harcourt y Laing, 1977, pp. 10-11).

Otra implicación de dicha hipótesis estriba en que permite eliminar dos características esenciales de los bienes de capital, como lo son la especificación y la heterogeneidad. El meollo del asunto es que el *meccano* se concibe como el medio ideal para diluir la tensión entre dos puntos de vista: de un lado, el capital considerado como bienes de capital físicamente heterogéneos que ayudan al trabajo y, de otro, el capital considerado como fondos invertibles que fluyen para igualar las tasas de retorno; de este modo, el *meccano* permite convertir ambos conceptos en uno solo⁵¹ (Harcourt, 1975, pp. 191-192; Cohen y Harcourt, 2003, p. 205).

Así las cosas, la adopción de esta hipótesis significa asumir que el capital consiste en un bien todo propósito y, por consiguiente, que el conjunto de la producción es un artículo

⁴⁹ El origen del uso de los términos jalea, acero, etc. se atribuye a Böhm-Bawerk, en el contexto de una discusión sostenida con Clark en 1907.

⁵⁰ La concepción de Clark sobre el capital fue expresada en términos matemáticos por F. P. Ramsey (“A Mathematical Theory of Saving.” *Economic Journal*, Vol. 38, 1928, pp. 543-559) en su función de producción (Harcourt y Laing, 1977; Harcourt, 1975).

⁵¹ Esta postura fue puesta de relieve y defendida por Swan (1956).

producido por medio de sí mismo, lo que entraña a su vez y viceversa que los bienes que componen el capital fueron producidos en algún momento en el pasado mediante un método semejante al que produce el producto total.

Esta aproximación al capital encuentra su expresión más familiar y extrema en la teoría del crecimiento, tanto en la aproximación neoclásica inicial contenida en el modelo de Solow (1956) y Swan (1956) como en las versiones endógenas más contemporáneas. Esta teoría extiende la noción de función de producción al conjunto de la economía⁵² y propende por el empleo pleno del capital y el trabajo en cualquier momento y a través del tiempo, aun en presencia de progreso técnico⁵³. Luego se abordarán estos aspectos.

Sin embargo, dicho enfoque recibe fuertes críticas por parte de los economistas de la corriente postkeynesiana, encabezados por Joan Robinson, quien cuestiona el realismo y relevancia de la representación hecha por Clark y aboga por una concepción algo cercana a la de Böhm-Bawerk (1891) pues, para ella, el “capital” es una condición necesaria para que el trabajo y los recursos naturales sean productivos, pero no es un factor de la producción independiente de estos (Robinson, 1960, p. 326).

Esta autora parte implícitamente de la noción según la cual el capital se compone de bienes de capital en existencia en un determinado momento y señala que estos últimos no son todas las cosas que existen, sino un grupo de bienes muy específico que difiere de otros grupos de bienes en detalles atinentes a sus especificidades técnicas, entre las cuales no pueden olvidarse las diferencias de edades (Robinson, 1953-1954).

En ese sentido, la inglesa afirma que, en el corto plazo, todos los bienes de capital son igualmente fijos en cantidad y la reserva de existencias de estos bienes puede

⁵² En palabras de Samuelson (1977, p. 221), esta función se podría describir del siguiente modo: “Supongamos ... que la mano de obra y una gelatina (*¡física, no en valor!*) de capital homogéneo producen un flujo de producto nacional neto homogéneo, que puede consistir en bienes de consumo o en formación de capital neto (es decir, gelatina), ambos infinitamente sustituibles (a largo plazo, o posiblemente aun a corto plazo) en proporción de uno a uno. La función de producción resultante obedece a los rendimientos constantes a escala y puede tener sustituibilidad suave y derivadas parciales de productividad marginal de buen comportamiento”.

⁵³ En particular, el supuesto de maleabilidad permite evitar las expectativas decepcionantes y las previsiones imperfectas que conducen a discrepancias entre los tipos de remuneraciones (salarios, beneficios) y las respectivas productividades marginales de *pleno empleo* de los factores (trabajo, capital), ya que el acervo de capital puede tomar la forma que se desee y adaptarse a cualquier oferta de trabajo (Harcourt, 1975, cap. I).

considerarse como catálogo de factores de la producción (incluyendo a la tierra, un bien de capital para la producción y el consumo); empero, en el largo plazo, sólo los recursos naturales y el trabajo constituyen los factores de la producción de la economía como un todo en tanto que los bienes de capital y el ritmo de la producción son los medios a través de los cuales estos factores son asignados (Robinson, 1960, pp. 325, 358).

De las anteriores posturas puede colegirse que para los economistas postkeynesianos el “capital” no constituye un factor primario al mismo nivel que el trabajo (y la tierra); de hecho, no es ni siquiera un “factor de producción” (Harcourt, 1975, p. 159). En cuanto a la hipótesis de maleabilidad propiamente, estos consideran que la noción del capital como una sustancia homogénea lo convierte en la práctica en una categoría metafísica⁵⁴.

En atención a tales cuestionamientos, esta aproximación al capital es eliminada del análisis neoclásico del crecimiento al introducirse la hipótesis de incorporación del progreso tecnológico en reemplazo de la de no incorporación. Bajo la hipótesis de incorporación, el acervo de capital está formado, en cualquier momento del tiempo, por estratos de fósiles o generaciones que representan la cantidad de inversión bruta en la tecnología que se escogió bajo la influencia de los precios relativos esperados de los factores, los avances tecnológicos y las condiciones de demanda imperantes en el momento en que se realizaron las inversiones (Harcourt, 1975, pp. 67, 78).

Ambos enfoques, tanto el de maleabilidad del capital como el de progreso tecnológico incorporado, han recibido fuertes críticas en el sentido de si sus finalidades son enteramente teóricas o si son andamiajes teóricos para realizar ejercicios econométricos. Al respecto, se destacan las controversias planteadas por Sraffa y Robinson acerca de la readopción de técnicas y la retrotraslación del capital así como los trabajos de Kaldor referidos a la relevancia de muchos de los supuestos neoclásicos (competencia perfecta, rendimientos constantes a escala, expectativas estáticas, entre otros) subyacentes en ambas aproximaciones analíticas (para más detalles, véase Harcourt, 1975, pp. 94-96).

⁵⁴ En efecto, con el fin de subrayar ese carácter es que Joan Robinson introduce la expresión *ectoplasma*.

En ese sentido, es importante resaltar que la hipótesis de incorporación del progreso técnico en el capital es una de las formas que adopta la hipótesis de maleabilidad toda vez que elimina la especificación y heterogeneidad inherente a los bienes de capital; asimismo, suprime la dificultad que comporta el hecho de que el capital se constituya de fondos invertibles o de bienes de capital resultantes de inversiones pasadas, pero nunca de *ambas* cosas a la vez (Harcourt, 1975, p. 16).

Similarmente, cabe subrayar que esta hipótesis no resuelve la pregunta acerca de la mayor eficiencia y/o productividad de los bienes de capital resultante de los cambios en el conocimiento tecnológico, razón por la cual no contribuye a una explicación de la naturaleza de este fenómeno.

Otra respuesta muy conocida frente a la postura postkeynesiana es la de Samuelson (1977), que intenta extender los resultados de los modelos basados en un sólo bien a modelos de bienes heterogéneos que reflejen más fielmente la realidad de los procesos productivos a través de la “función de producción sustituta” (“*surrogate production function*”)⁵⁵ y la envolvente de las fronteras de precios de los factores.

Sin embargo, tal como este autor demuestra, la posibilidad de obtener una correspondencia entre los resultados obtenidos con ambos tipos de modelos es tan estrecha como se quiera a condición de escoger el tipo adecuado de jalea para su utilización en la función sustituta, con lo que se retorna a los modelos de un bien (Harcourt y Laing, 1977, pp. 19-21; Harcourt, 1975, pp. 164-165; Cohen y Harcourt, 2003, p. 206).

De esta manera, se puede decir que el objetivo de Samuelson con esta formulación es suministrar una justificación teórica para utilizar en la teoría y en los trabajos de medición empírica un modelo con un bien universal y maleable, dentro de ciertas condiciones (Harcourt, 1975, p. 18).

⁵⁵ “Emplearé las nuevas herramientas de la función de producción sustituta y el capital sustituto para mostrar cómo en ocasiones podemos pronosticar exactamente la conducta de ciertos modelos de capital heterogéneo muy complicados tratándolos *como si* proviniesen de una sencilla función de producción generadora (aun si supiésemos que *realmente* no provinieron de tal función)”. Samuelson, P. A. “Parábola y realismo en la teoría del capital: La función de producción sustituta”. Traducción de Eduardo L. Suárez. En: Harcourt, G. C. y Laing, N. F. (comps.). *Capital y crecimiento*. México: FCE, 1977, p. 212.

Muchos de los problemas que aborda la controversia de Cambridge son impugnables, de ahí que algunos la califiquen como “distractora”. No obstante, cabe subrayar que ella obedece esencialmente al contraste entre dos visiones diferentes del sistema económico que se reflejan en posiciones ideológicas en conflicto y en objeciones mutuas asociadas al discernimiento teórico. Estas visiones son, de acuerdo con Nell:

la visión neoclásica del sistema productivo como un flujo de una sola dirección desde los factores productivos hasta los productos finales, perdiendo de vista los bienes intermedios (en los que realmente se ejercita la acción), por una parte, y la visión clásica donde los bienes se producen por bienes en un proceso circular, de modo que los bienes intermedios vuelven a ocupar el centro de la escena, y capitalistas y trabajadores comparten (luchan por) el excedente o producto neto resultante, por la otra⁵⁶.

4.2.2. El concepto de capital natural y la hipótesis de maleabilidad

Como se ha visto anteriormente, Solow (1974b), al plantear su posición acerca de la sustitución entre recursos naturales y capital en la discusión sobre sostenibilidad, distingue entre recursos naturales renovables y agotables, incorporando los primeros en el capital reproducible (K) y tratando los segundos como un insumo independiente (R).

Esta manera de abordar los recursos en términos de factores productivos da lugar posteriormente a la afirmación por parte de muchos economistas ambientales y ecológicos según la cual los recursos naturales renovables y no renovables son una forma de capital que contribuye significativamente al bienestar humano; en consecuencia, estos economistas acuñan la categoría “capital natural” y advierten sobre su rol esencial en la producción de bienes y servicios (Costanza y Daly, 1992; Daly, 1994)⁵⁷.

Estos últimos científicos, adicionalmente, sustentan la introducción de dicho término en una definición más funcional del capital como “un acervo que arroja un flujo de bienes o

⁵⁶ Nell, E. J. “Teorías del crecimiento y del valor”. Traducción de Eduardo L. Suárez. En: *Ibid.*, pp. 18-19.

⁵⁷ De acuerdo con Olewiler (2002, p. 118), el capital natural se compone de tres elementos: (1) capital recursos naturales, es decir, el conjunto de recursos renovables y no renovables; (2) capital ambiental o ecosistemas, o sea, los sistemas que proveen bienes y servicios ambientales esenciales, y (3) tierra, entendida como el espacio en el que tienen lugar las actividades humanas.

servicios valiosos en el futuro”, es decir, en la visión del economista de acuerdo con la cual el valor del capital reside en su habilidad para generar producción futura (Costanza y Daly, 1992, p. 38; El Serafy, 1991, p. 175).

No obstante, cabe recordar que la categoría capital natural fue postulada primeramente por Frank William Taussig en el contexto de la polémica que tuvo lugar en la década del veinte del siglo pasado entre los economistas estadounidenses acerca de la clasificación de los factores productivos y la relevancia de la tierra y el capital en la teoría económica, polémica que terminó de manera confusa en el decenio siguiente con el “consenso” inducido por la adopción generalizada de la hipótesis de maleabilidad en torno a agrupar todos los factores de producción bajo el capital.

Así las cosas, puede decirse que la categoría en cuestión no es nueva en la teoría económica, si bien resulta refrescante su reintroducción toda vez que pone de relieve la supresión de que había sido objeto el entorno natural en el tratamiento de la producción. Al respecto, cabe resaltar que mientras el término fue utilizado originalmente para abarcar aquellos aspectos de la naturaleza usados efectivamente por los humanos, la creciente conciencia sobre el intrincado y delicado balance entre el medio natural y la economía ha llevado a que la naturaleza en su totalidad sea considerada como capital natural (Goodwin, 2003, p. 4).

Sin embargo, similarmente se colige que en la medida que este término ha sido enunciado para extender el concepto de capital a la naturaleza en sus funciones de suministro de recursos (materias primas y energía) y recepción de desechos generados en el curso de la actividad económica⁵⁸, se sientan las bases para que pueda realizarse la valoración monetaria de aquélla.

En particular, el tratamiento de la naturaleza como capital conlleva someter los recursos y servicios ecosistémicos a la racionalidad propia de la hipótesis de maleabilidad y, en consecuencia, asumir que dichos recursos y servicios constituyen una mercancía

⁵⁸ Además de estas funciones, se considera que el capital natural desempeña otras tales como soporte de vida y provisión de servicios de “amenidad”. No obstante, aquellas son las más directamente relevantes para el proceso productivo y, en consecuencia, las que se abordan a lo largo del presente trabajo.

homogénea cuyo valor puede ser expresado en términos pecuniarios e incluso utilizado para la toma de decisiones de inversión⁵⁹, con lo que se ignoran todas las especificidades inherentes a tales recursos y los procesos que se llevan a cabo en el sistema natural.

Asimismo, cabe señalar con Victor (1991, p. 210) que con este tratamiento se asume implícitamente que el medio ambiente puede ser sustituido por otras formas de capital (especialmente, capital hecho por el hombre); que es reproducible, acumulable y que está allí dispuesto para ser manejado de la misma manera que el capital manufacturado. De ahí que resulte inadecuado, por no decir peligroso, utilizar la categoría capital natural para representar los elementos e interacciones de la naturaleza.

4.3. LOS INDISOLUBLES VÍNCULOS ENTRE LA ENERGÍA Y EL CAPITAL, O LA ENERGÍA COMO FACTOR DE PRODUCCIÓN

Se ha planteado anteriormente que, de manera tácita, Menger le otorga a los recursos energéticos el rol de bienes de orden superior en el proceso de producción, al igual que la coincidencia de este autor con Soddy (1995) en cuanto a que los energéticos fósiles y los medios de producción constituyen bienes complementarios.

Esta coincidencia es reflejo de una idea de sentido común, según la cual el capital y la energía son usados conjuntamente en la producción. En términos generales, existe una estrecha relación entre estos dos elementos que se evidencia en el hecho de que las máquinas y otros medios de producción requieren energía para su funcionamiento, razón por la cual ésta es un fluido esencial para los procesos productivos.

Desde una perspectiva física, el capital productivo creado por el hombre está indisolublemente ligado a la energía en lo que tiene que ver con su construcción, operación y mantenimiento. Ello es así en virtud de que este capital es la resultante de trabajo, funciona gracias a aportes de energía y facilita el trabajo mecánico humano, siendo a su vez controlado por éste (Gómez G., 2002, p. 110).

⁵⁹ Ésta es la idea subyacente a la regla de estimación de la senda de precios que permiten una explotación intertemporalmente óptima de los recursos agotables postulada por Hotelling, tal como lo pone de presente Solow (1974b).

Es así como la física muestra que la energía es indispensable para la producción y, por lo tanto, para el crecimiento. No obstante, la teoría ortodoxa del crecimiento económico –salvo algunos modelos especializados– no le pone atención a las relaciones entre la energía y el capital y, en general, al papel de la energía.

Solamente los incrementos en los precios del petróleo durante los años setenta del siglo pasado generaron entre los economistas preocupación por el impacto de dichos incrementos sobre el crecimiento económico, poniendo en el centro del debate la naturaleza de la relación entre la energía y el capital en la producción.

En ese sentido, estos científicos arguyen que, aun cuando teóricamente todos los factores de producción son sustituibles, el grado de sustitución entre el capital y la energía –reflejado en la elasticidad de sustitución entre estos dos elementos– es una cuestión empírica (El Serafy, 1991, p. 170; Stern, 2004, p. 4).

Por tal motivo, se realizaron varios estudios en los que se incluyó la energía en la función de producción –especificación KLE– con el fin de estimar la elasticidad de sustitución entre aquella y el capital a nivel de distintos sectores de la economía. La concepción subyacente en dichos estudios es que, si la energía y el capital exhiben un alto grado de sustituibilidad, las industrias pueden adaptarse rápidamente a crecientes precios de los energéticos utilizando equipo que reduzca el uso de energía; de otro lado, si la sustitución exhibida es baja, las firmas del sector en estudio pueden afrontar problemas de ajuste (Berndt y Wood, 1975, p. 259; Nicholson, 1992, p. 322).

Asimismo, algunas de estas investigaciones sugirieron la posibilidad de que el capital y la energía sean complementos en la producción; en otras palabras, que la utilización de equipo sofisticado involucra necesariamente el uso de más energía para darle potencia, tal que la única manera en que las empresas pueden afrontar los aumentos de los precios de los energéticos es reduciendo el empleo de capital y energía. De este modo, la idea de sentido común según la cual la energía y el capital tienden a ser aplicados conjuntamente en la producción parecería estar soportada en los hechos (Nicholson, 1992, p. 322).

Al respecto, Berndt y Wood (1975, 1979) van más allá e introducen una forma funcional de la producción que incluye los materiales intermedios –especificación KLEM–, demostrando para el sector manufacturero estadounidense que la energía y el capital pueden ser sustitutos desde el punto de vista técnico (al permitir que la cantidad de producto varíe en respuesta a un cambio de precio) pero complementos desde el punto de vista económico (al mantenerse constante el producto a medida que los precios cambian).

En contraste con estos estudios económicos, la corriente física del Análisis Energético Macroeconómico examina la relación entre los insumos energéticos y otros factores productivos mediante la formulación de diversos modelos de la economía en los que se incorpora la energía, permitiendo estimar sus elasticidades de sustitución y producción (Sollner, 1999, p. 114).

En ese sentido, Hall *et al.* (2001, pp. 667-668) asumen que la energía es la conductora del cambio y el factor de producción más importante. Con el fin de demostrarlo, plantean que el capital consiste en todos los dispositivos que transforman energía y las instalaciones necesarias para su operación y protección; similarmente, distinguen en el trabajo el componente rutinario –que cae propiamente bajo esta categoría– de las ideas, inventos, juicios de valor y decisiones, los cuales pasan a formar parte de una categoría a la que denominan *creatividad* y que definen como aquella contribución humana a la evolución económica que no puede ser realizada por cualquier máquina capaz de aprender. Así las cosas, estos autores consideran que el capital constituye creatividad materializada, manipulada por trabajo y activada por energía.

Hall *et al.* (2001) formulan la función de producción LINEX y especifican en ella tres constantes que caracterizan el estado tecnológico del sistema económico. A efectos de la contrastación empírica, examinan los sectores industriales –incluyendo servicios– de los Estados Unidos, Japón y Alemania alrededor del periodo 1960-1993 utilizando datos consistentes con sus definiciones de los factores productivos.

De acuerdo con sus resultados, las crisis energéticas de la década del setenta influyeron sobre la creatividad en la medida que ésta permitió disminuir la demanda de energía por parte del acervo de capital y mejorar su poder productivo. La creatividad indujo modificaciones en los parámetros tecnológicos del sistema económico como resultado de decisiones gubernamentales y empresariales orientadas a invertir en tecnologías para la conservación de energía y de cambios estructurales dirigidos a actividades menos intensivas en capital (Hall *et al.*, 2001).

Este análisis muestra asimismo que la elasticidad de la energía (y la creatividad) es aproximadamente igual en los tres países a la suma de las elasticidades de producción del capital y el trabajo, lo que significa que el poder productivo de la energía es mayor que el correspondiente a los otros factores y diez veces superior a la participación que tradicionalmente se le ha asignado en la producción –la cual es de más o menos el 5%. Con ello, estos científicos critican a la teoría económica convencional por considerar que la energía es poco importante debido a su baratura (midiendo dicha importancia por la parte del costo total de producción atribuible a la energía).

5. SUSTITUCIÓN ENTRE FACTORES Y ESENCIALIDAD DE LOS RECURSOS NATURALES Y LA ENERGÍA

Tal como se definió en el primer capítulo, un factor es esencial cuando su ausencia hace que el producto sea nulo. Al respecto, su relevancia –en el sentido de entrañar una restricción real sobre la producción– depende de las posibilidades de sustitución que se asume existen entre los factores, lo que depende a su vez de la forma atribuida a la función de producción (Common y Perrings, 1992, p. 11).

Para la función de producción neoclásica, puede demostrarse matemáticamente que sus tres propiedades fundamentales (rendimientos constantes de escala, rendimientos marginales decrecientes del trabajo y el capital y condiciones de Inada) conllevan que todos los factores son esenciales; de ahí que algunos economistas añadan la condición de *esencialidad* a la definición de esta función (véase Barro y Sala-i-Martin, 2004, ch. 1).

A este respecto, Dasgupta y Heal (1974) y Solow (1974a) observan que cuando las posibilidades de sustitución se representan mediante una elasticidad de sustitución que excede la unidad, los recursos naturales agotables no son un problema fundamental puesto que no son indispensables para la producción al ser fácilmente sustituidos por otros factores, y, al contrario, cuando la elasticidad de sustitución es menor que uno, la disponibilidad de recursos limita el producto.

Un caso particular a resaltar es el de la función Cobb-Douglas, una de las más frecuentemente utilizadas en los modelos de producción y de crecimiento. Esta forma funcional posee las propiedades de elasticidad de sustitución unitaria entre los factores y rendimientos constantes de escala (véase Anexo 2), razón por la cual es la única de las de elasticidad de sustitución constante que satisface la condición de esencialidad indicada anteriormente.

De igual modo, esta función trata los recursos naturales de manera indiferente frente a los otros factores de producción, lo que consolida la asunción de perfecta sustituibilidad referida y, a la vez, justifica la idea de que se puede mantener un nivel dado de producción en presencia de un acervo infinitamente pequeño de recursos mediante compensación con suficiente capital (Daly, 1999a, p. 33; Stern, 2004)⁶⁰.

Tales características no tienen en cuenta que el capital está conformado por bienes –herramientas, máquinas y fábricas– que se elaboran a partir de recursos naturales (materiales y energía) con la intervención de trabajo humano, el cual también utiliza recursos (por ejemplo, alimento y agua). Así las cosas, la producción del “sustituto” requiere más de aquello que se supone sustituye (Costanza y Daly, 1992, p. 41; Victor, 1991, p. 197; Stern, 2004, p. 9; Daly, 1994, pp. 58-59; Cleveland, 2003).

En contraste, la ley de la conservación de la materia-energía prescribe que ni el capital ni el trabajo pueden crear los recursos de los cuales se derivan y sobre los que operan (Cleveland, 1987, p. 67; Daly, 1999a, p. 33; Cleveland y Ruth, 1999, p. 68).

⁶⁰ Esta idea explica lo que en términos generales se conoce como condiciones de Inada.

Adicionalmente, la naturaleza desempeña otras funciones económicas, tales como las de sustentación de la vida, que no pueden ser ejercidas por el capital construido por el hombre. En consecuencia, la *multifuncionalidad* del entorno natural restringe sus posibilidades de sustitución por parte del capital (Pearce y Turner, 1995, pp. 79-80).

Así, puede decirse en términos generales que la sustitución entre recursos naturales y capital y trabajo es más restringida sobre la base de la economía como un todo que dentro de una firma o industria individual. Consiguientemente, las estimaciones de la elasticidad de sustitución entre estos elementos al nivel microeconómico no reflejan las posibilidades de sustitución a escala macroeconómica (Cleveland *et al.*, 1984; Stern, 1997, p. 201), mucho más relevante para el análisis del crecimiento.

En este último contexto, similarmente, en la medida que se permite que los factores esenciales sean sustituidos, de modo que una cantidad de producto sea producida simplemente incrementando un factor o grupo de factores y reduciendo otro, no se puede decir que estos elementos sean indispensables. De esta manera, se colige que la condición de esencialidad sólo es válida desde el punto de vista matemático y no es consistente con las realidades físicas que involucra la producción como proceso de transformación de materia y energía.

Dicho en otras palabras, existen requerimientos mínimos de materia y energía en cualquier proceso de producción⁶¹; por tal razón, la sustitución de recursos naturales por otros factores productivos debe tener límites, de manera que estos recursos –pero especialmente la energía– son un factor esencial de producción (Stern, 1997, pp. 199-200; Stern, 2004, p. 3)⁶².

Es así como, con el fin de abordar la esencialidad física de los recursos naturales, y como alternativa a la condición de esencialidad esgrimida por los economistas neoclásicos, se

⁶¹ En virtud de la segunda ley de la termodinámica, todo proceso de producción requiere una cantidad mínima de energía. Ello obedece a que todos los procesos económicos involucran una transformación de materia, para lo que se necesita energía.

⁶² En este sentido, cabe resaltar que la heterogeneidad de los recursos naturales hace imposible encontrar sustitutos para la totalidad de los mismos (Sollner, 1999, p. 105).

sugiere retomar la noción de *factor limitante* propuesta por Daly (1994, p. 54) y que comporta complementariedad entre los elementos productivos.

Cuando los factores productivos son complementarios, estos deben ser empleados completamente en proporciones claras y precisas para cada nivel de producción (proporciones que pueden variar o, de otro modo, se presenten variaciones en el nivel de producto) (Schneider, 1934, citado en Colacchio y Soci, 2003, p. 81). Luego, al no permitirse sustitución alguna entre los elementos productivos, la dificultad en la disponibilidad de un factor conlleva una restricción a la expansión de la producción, por lo que el elemento que se encuentra en poca cantidad es limitante (Daly, 1999c, p. 19).

De este modo, las consideraciones biofísicas esbozadas por Georgescu-Roegen y los economistas ecológicos en la discusión acerca de la sostenibilidad del crecimiento económico encuentran su explicación; pero, asimismo, su consistencia conceptual con la visión mengeriana de la producción se pone ciertamente de presente. No sobra recordar que dicha visión es también compartida por el físico Soddy.

CONCLUSIONES: LOS RECURSOS NATURALES Y LA ENERGÍA EN LA PRODUCCIÓN Y EL CRECIMIENTO

Con la industrialización, se hizo necesario garantizar la provisión continua de los elementos productivos y, principalmente, del trabajo, la tierra y el dinero. De acuerdo con Polanyi (1989), la única forma de organización posible para ese efecto en una sociedad comercial consistía en disponer estos elementos para la venta y la compra, haciéndose preciso convertirlos en mercancías. Así, una consecuencia inevitable del desarrollo de los procesos fabriles fue la extensión del mecanismo del mercado a la tierra, el trabajo y el dinero⁶³.

Esta concepción sobre la organización real de la producción es consistente con la representación analítica postulada por la teoría económica neoclásica. Al respecto, cabe

⁶³ Sin embargo, en la medida que estos elementos no son producidos para la venta en el mercado, resulta imposible convertirlos realmente en mercancías, de ahí que Polanyi utilice el término “mercancías ficticias” para denominarlos.

recordar que, pese a las atribuciones de universalidad enarboladas por dicha teoría, esta representación es mucho más cercana a los procesos de la manufactura y los servicios modernos de red (telecomunicaciones) que a los de la agricultura y artesanales, como se colige de sus supuestos implícitos y su consistencia conceptual y matemática (véase Christensen, 1989, pp. 20-21; Ayres, 2001; Georgescu-Roegen, 1996, cap. IX, § 12).

Asimismo, dicha concepción pone de relieve la importancia que la noción de escasez adquiere para la economía neoclásica pues, en la medida que se requiere utilizar continuamente los factores en cantidades dadas, la disponibilidad en relación con la necesidad que de estos se tiene se convierte en un aspecto crucial.

En ese contexto, se entiende por qué esta corriente no le otorga relevancia a los recursos naturales, desconociendo su influencia en el funcionamiento del sistema económico. Los economistas neoclásicos (walrasianos), al asumir implícitamente ofertas infinitas de estos recursos y de energía, consideran que tales elementos son *bienes libres* y, por ende, no susceptibles de valoración, apropiación e intercambio. Por esta razón, las teorías ortodoxas ignoran la contribución que los recursos naturales y la energía hacen a la producción y su rol en promover el crecimiento económico; pero, en especial, omiten las limitaciones que la ausencia de dichos elementos entraña sobre estos dos aspectos.

Este punto de vista se vio fortalecido a principios de la década del treinta del siglo pasado como consecuencia del “consenso” adoptado tras la discusión en torno al carácter de la tierra y, en particular, por la aparición de estudios estadísticos que indicaban que una participación sorprendentemente pequeña del ingreso nacional correspondía a la renta (Ryan, 2002). Luego de estos sucesos, la tierra y, en general, los recursos naturales desaparecieron del análisis económico y, en cambio, fueron subsumidos al capital, así como las rentas originadas por el uso de estos añadidas al ingreso del capital (Binswanger, 1998, p. 5).

Consecuentemente, la teoría convencional asume que la producción es el resultado de combinar el trabajo (L) y el capital (K), por lo que su representación se reduce a la siguiente expresión:

$$Y(t) = F[K(t), L(t)] \quad (2.1)^{64}$$

en la que los elementos referidos se consideran, de hecho, los únicos factores productivos. De esta manera, la naturaleza y sus servicios son incluidos tácitamente dentro del capital, descartándose los fundamentos naturales de la producción.

Lo anterior es ya evidente en las primeras teorías del crecimiento económico y, en particular, en la formulación contenida en el modelo de Solow-Swan, como se colige de la omisión de la tierra de entre los factores productivos que este modelo efectúa al igual que de las implicaciones atribuidas a los supuestos de rendimientos constantes a escala y maleabilidad del capital (ver Solow, 1956; Swan, 1956).

Los fundamentos naturales de la producción sólo comenzaron a abordarse a raíz de las preocupaciones ambientales y de recursos a fines de la década del sesenta del siglo pasado así como sobre los límites y/o la sostenibilidad del crecimiento económico a comienzos de los setenta. Dichas preocupaciones indujeron a los teóricos modernos a incorporar los recursos naturales en sus representaciones del crecimiento.

Sin embargo, estas representaciones se caracterizan por la asunción de posibilidades de sustitución estricta entre los recursos naturales y el capital hecho por el hombre toda vez que las funciones de producción empleadas sólo poseen dos insumos (R y K) y/o presentan capital maleable (Dasgupta y Heal, 1974 y 1979; Solow, 1974a; Stiglitz, 1974); en términos más técnicos, esto significa que se supone que la elasticidad de sustitución entre estos elementos es constante y alta.

De un lado, la teoría económica neoclásica presupone que en las funciones de producción con dos factores solamente se presentan relaciones de sustituibilidad entre los insumos⁶⁵. Esta suposición sustenta el principio de acuerdo con el cual el capital hecho por el hombre

⁶⁴ Ésta es una adaptación de la ecuación (1.1) que, dado que el presente capítulo no toma en cuenta el conocimiento tecnológico, omite el elemento $A(t)$. No sobra resaltar la consistencia de esta expresión con la concepción de la producción y el crecimiento económico propia del periodo entreguerras, en la que el cambio tecnológico no había tomado aún preponderancia. También, considérese la nota 13 del capítulo anterior.

⁶⁵ Al respecto, Daly (1994, p. 54, nota al pie 2) señala que las relaciones de complementariedad contradirían el análisis que provee la curva isocuanta de producción.

es un sustituto casi perfecto de los recursos naturales, que se ha erguido como una de las razones para ignorar el entorno natural.

Los economistas han pretendido trasladar tal presupuesto a la realidad cuando afirman que la sustituibilidad entre el capital y la energía es una cuestión empírica (El Serafy, 1991, p. 170; Stern, 2004, p. 4). Al respecto, la mayoría de los estudios econométricos se han centrado en medir la sustitución entre la energía, el trabajo y el capital manufacturado al nivel de la industria mediante la extensión de la función de producción tradicional para tener en cuenta la energía y los materiales (especificaciones KLE y KLEM); no obstante, la relevancia de dichos trabajos respecto a las relaciones entre energía y capital al nivel de la economía como un todo parece cuestionable.

Contrario a la postura de los economistas, desde una perspectiva biofísica se plantea la idea de sentido común según la cual el capital y la energía presentan relaciones de complementariedad, convirtiéndose esta premisa en el fundamento de cualquier teoría de la producción (al respecto, remítase a Hall *et al.*, 2001).

En términos generales, esta perspectiva recaba en que la teoría neoclásica de la producción desdeña la interdependencia entre el capital, el trabajo y los recursos naturales, razón por la cual las funciones de producción no consideran la interrelación física entre la naturaleza y los otros factores productivos y, en cambio, suponen un grado de sustituibilidad que puede no existir (Cleveland *et al.*, 1984, pp. 892-893; Cleveland, 2003).

Las funciones de producción neoclásicas abstraen totalmente que la disponibilidad de los factores de origen humano depende de la existencia del medio natural. Es decir, que el capital y el trabajo se combinan para extraer y aprovechar recursos del ambiente, pero no pueden crear en un sentido físico la energía y los materiales de los que se componen y sobre los cuales operan (Cleveland *et al.*, 1984, p. 893; Daly, 1999a).

En relación con el capital y los recursos naturales, lo anterior significa que la construcción y mantenimiento de un aumento en el acervo de capital entraña un incremento del agotamiento de los recursos naturales; por consiguiente, si el capital tiende a ser infinito,

entonces los recursos se agotarían rápidamente debido a la elaboración de medios de producción (Daly, 1999a, p. 33; Cleveland, 1987, p. 67).

Así las cosas, la sustitución entre recursos naturales y capital y trabajo es, por lo menos, más restringida sobre la base de la economía como un todo que dentro de una empresa o industria individual (Stern, 2004). Luego, las estimaciones de la elasticidad de sustitución entre los elementos productivos al nivel microeconómico no reflejan las posibilidades de sustitución a escala macroeconómica (Cleveland *et al.*, 1984; Stern, 1997).

De otro lado, la hipótesis de maleabilidad postula que todos los bienes de capital están formados por una materia homogénea e indestructible que puede aplicarse a cualquier uso (incluso el consumo) y amoldarse a diferentes formas sin dificultad significativa. De este modo, el capital se compone de un conjunto de elementos sustituibles perfectamente entre sí y pueden tener lugar la totalidad de los procedimientos neoclásicos asociados al pleno empleo de los factores productivos en economías en competencia (Harcourt, 1975, pp. 195-196).

No obstante, los bienes de capital poseen por lo regular unos pocos usos específicos, de ahí que un determinado bien de este tipo sólo pueda transformarse para desempeñar una función diferente a cierto costo, lo que implica que no existe perfecta sustituibilidad entre las distintas formas del capital. Por consiguiente, la hipótesis de maleabilidad riñe con las dificultades reales que comporta la existencia de bienes heterogéneos de capital (Harcourt, 1975, p. 196; Becker, 1983, p. 138), resultando por completo arbitraria.

Con todo, la noción de capital maleable es un supuesto de partida en las representaciones del crecimiento económico con recursos agotables que proponen Solow (1974a), Stiglitz (1974) y Dasgupta y Heal (1974, 1979), de lo que se infiere que en éstas cada componente del capital es un sustituto perfecto de cualquiera de los otros; en ese sentido, si a los recursos naturales no renovables se los equipara en su tratamiento con el capital – como en efecto se hace al plantear que estos son “... un activo de capital para la sociedad y para su poseedor” (Solow, 1974b, p. 2; Dasgupta, 1993, p. 1117)–, entonces su agotamiento puede ser enteramente afrontado reemplazándolos con capital construido por el hombre.

Otra manera de invocar la hipótesis de maleabilidad en las representaciones de la producción y el crecimiento con recursos naturales consiste en la distinción entre las categorías “capital natural” y “capital manufacturado”. Paradójicamente, esta distinción fue enunciada en un principio por Taussig (1926, Vol. II, Book V, ch. 46) con el ánimo de reforzar su postura en favor de la tradicional división tripartita de los factores productivos y, en la misma dirección, señalar los peligros que entrañaba agrupar estos bajo el capital.

Los economistas ecológicos, por su parte, han reintroducido el concepto de capital natural para referirse a las existencias físicas que alimentan el flujo de recursos naturales, diferenciándolo del capital hecho por el hombre o manufacturado, al que conciben como medios de producción producidos (es decir, como lo que los economistas han agrupado convencionalmente bajo el nombre de capital), y abogando por el reconocimiento del rol esencial que dichas existencias y flujos desempeñan en la producción de bienes.

La diferenciación que efectúan los economistas ecológicos, que rechaza flagrante e inconscientemente los aportes y advertencias de Taussig, está relacionada con el creciente uso de los conceptos de capital físico y capital humano, entre otros tipos de capital (social, financiero, ...), por parte de diversas corrientes económicas ortodoxas y no ortodoxas para denotar los factores productivos convencionales (Gudynas, 2000)⁶⁶.

Para dichas corrientes, el capital físico es de dos clases: natural y producido; así, el capital natural se constituye de los recursos y servicios de la naturaleza y el capital producido de los activos físicos generados mediante la aplicación de actividades productivas humanas al capital natural y que son usados para proveer bienes o servicios⁶⁷. Por su parte, el capital humano alude a las capacidades productivas de un individuo, tanto heredadas como adquiridas a través de la educación y el entrenamiento (Goodwin, 2003).

⁶⁶ “... we have three broad types of capital: natural, human, and manufactured, corresponding roughly to the traditional economic factors of production of land, labor, and capital. In addition, we have the important distinction between renewable and non-renewable natural capital, and for some purposes we can lump both human and manufactured capital together as ‘human-made capital’.” Costanza, Robert and Daly, Herman E. “Natural Capital and Sustainable Development.” *Conservation Biology*, Vol. 6, No. 1, March 1992, p. 38.

⁶⁷ Obsérvense las ligeras similitudes entre estas definiciones y la distinción entre bienes de capital activos y bienes de capital pasivos esbozada por Clark (1899, ch. X).

Cabe subrayar, a modo de digresión, que en la postura de tales corrientes se encuentra ciertamente un retorno a la concepción walrasiana de los factores productivos, que reduce estos a componentes del capital. Ello se advierte en las sutiles similitudes entre el concepto de capital humano y la definición del francés de capitales personales al igual que en el reconocimiento de “activos naturales” que, asociados con la tierra (capital de bienes raíces) y los bienes de capital hechos por el hombre, contribuyen a la producción⁶⁸.

Tratar la naturaleza como capital comporta someter los recursos y servicios ecosistémicos a la racionalidad propia de la hipótesis de maleabilidad y, por tanto, relegarlos a la mercancía de Ramsey-Clark que ignora todo tipo de especificidad, incluso las que llevan aparejadas los procesos naturales. De igual manera, este tratamiento permite implícitamente la sustitución del medio ambiente por otras formas de capital de origen humano (especialmente capital manufacturado reproducible, acumulable y manipulable) y convierte el valor de aquel en criterio para la toma de decisiones de inversión. Por tales razones, resulta inapropiado y hasta temerario que tales corrientes empleen el concepto de capital natural para referirse a los elementos e interacciones del sistema natural.

No sobra destacar que las maneras en que toma forma el supuesto de perfecta sustituibilidad en las representaciones del crecimiento económico evidencian a su vez dos polémicas inconclusas en el interior de la economía. Por una parte, la denominada controversia sobre teoría del capital, y, por otra, el debate en torno al papel que desempeña la tierra en la producción. Estas polémicas han permitido configurar algunas corrientes de pensamiento económico alternativas a la vigente.

La controversia sobre teoría del capital obedece en buena medida a la posibilidad de conciliar las concepciones que se tienen acerca de esta categoría pues, mientras la concepción “técnica” plantea que el capital se constituye de un conjunto de factores incorporados en el proceso productivo a medida que éste es realizado en un

⁶⁸ Es de anotar que el reconocimiento de estos activos le permite a Walras aludir a la producción de alimentos, es decir, a la agricultura y la ganadería; en contraste, el concepto de capital natural –mucho más amplio– no parece tener en cuenta este tipo de producción.

establecimiento particular, la concepción “financiera” esboza que el capital es un fondo libre que puede cambiarse de un uso a otro sin costo.

Los economistas neoclásicos, y particularmente los del Instituto Tecnológico de Massachussets, han abogado de maneras tanto manifiestas como soterradas por la coincidencia de estas dos concepciones, como se observa en las nociones de capital maleable y progreso técnico incorporado en el capital al igual que en la función de producción subrogada, respectivamente. Empero, estos enfoques han sido criticados por los economistas neorricardianos de la Universidad de Cambridge sobre la base de la dificultad lógica de tal coincidencia dado que ella sólo es posible bajo condiciones muy restrictivas (Pasinetti y Scazzieri, 1987, p. 366).

Por su parte, el debate alrededor del rol productivo de la tierra y los recursos naturales ha estado enmarcado en diversas discusiones mantenidas a lo largo del desarrollo de la teoría económica moderna. Fue la delimitación de lo económico lo que le dio sentido a dichas discusiones en los inicios de esta teoría. Luego, el tratamiento teórico de la producción y la distribución puso de nuevo sobre el tapete la significancia económica de la tierra. Actualmente, los recursos naturales y la energía ocupan la atención en el contexto de la sostenibilidad del crecimiento presente y futuro.

Dado que ya se ha abordado suficientemente esta última discusión, baste concluir que ella es una muestra más de la ausencia de solidez teórica en el interior de la economía para abordar la producción y el crecimiento económico. Las inconsistencias mencionadas con respecto a la(s) definición(es) del capital y los problemas para incorporar la tierra y los recursos naturales en una relación funcional que represente fielmente los procesos productivos así lo revela.

Los problemas señalados han estado asociados, a su vez, a la noción subyacente que ha profesado la economía convencional de que la tierra es un elemento inerte, razón por la cual se han ignorado las interacciones ecosistémicas que ocurren en los suelos y que derivan en unas propiedades específicas de estos que se manifiestan en las diferencias de fertilidad. En este sentido, puede decirse que el concepto de tierra que posee la economía no se ha alejado sustancialmente del enunciado por Ricardo, incluyendo los

supuestos simplificadores que lo apoyan y que remiten a unos conocimientos de la física y la química propios de la Europa del siglo XVIII.

Similarmente, la transición de la economía clásica a la neoclásica significó un desplazamiento en la visión de la tierra desde un suelo productivo que sustenta las actividades agrícolas a un espacio escaso en el que se ubican las industrias y los hogares (con sus respectivos canales de comunicación), lo que reforzó la noción subrayada de este elemento como sustancialmente inerte y, en última instancia, contribuye a complicar la representación analítica de los procesos de la producción y la incorporación de la tierra en dichas formas funcionales.

Por estas razones, se concuerda con England (2000, p. 426) en señalar que teorizar sobre los nexos entre la producción y el mundo natural requiere la formulación de un concepto más amplio y rico que el de “tierra”. No obstante, se discrepa de este autor en cuanto a que dicho concepto sea el de “capital natural” debido a los inconvenientes teóricos y las consecuencias prácticas que la adopción de tal concepto conlleva.

En otro orden de ideas, las distintas configuraciones que toma el supuesto de sustituibilidad perfecta en los modelos de crecimiento económico con recursos naturales se corresponden con las propiedades de la función de producción Cobb-Douglas, típica representante de las formas funcionales neoclásicas y de la que se aduce satisface la condición de esencialidad.

Algunos economistas neoclásicos argumentan que esta condición le permite a la función Cobb-Douglas tener en cuenta el hecho de que se requieren *alguna* energía y materiales para producir bienes y servicios. Empero, la elasticidad de sustitución unitaria hace que la cantidad crítica para que estos elementos sean “esenciales” pueda ser infinitamente pequeña si se aplica suficiente capital hecho por el hombre (Stern, 2004; Cleveland, 2003). De ahí que se presente una aparente contradicción entre los distintos atributos de la forma funcional aludida que revela que los recursos no se consideran indispensables para la producción.

Al respecto, cabe aclarar que la contradicción señalada yace en el plano de la realidad física, pues lo descrito anteriormente implica que las propiedades de la función de producción neoclásica riñen con las restricciones termodinámicas inherentes a la producción como transformación morfológica de la materia y funcional de la energía⁶⁹. Pero, por el contrario, dicha contradicción es inexistente desde la óptica económica y la consistencia matemática, con base en las cuales se atribuyen las propiedades esbozadas a la forma funcional indicada.

Así las cosas, la popular función de producción Cobb-Douglas no permite analizar los límites físicos a la sustitución pues, al asumirse que ésta siempre se lleva a cabo uno a uno, no importa cuán lejos llegue la economía en sustituir un factor por otro. Este punto de vista acerca del potencial ilimitado para la sustitución entre insumos carece de plausibilidad, aun cuando es característico de la mayoría de las formulaciones neoclásicas de la función de producción (Victor, 1991, p. 196).

Todo lo anteriormente mencionado está asociado a que los teóricos del crecimiento económico abordan el agotamiento de los recursos naturales conservando la preocupación y los matices neoclásicos. Por lo tanto, el propósito de estos teóricos es estudiar la manera como la disponibilidad limitada de recursos afecta en el largo plazo la utilidad derivada de la producción y actúa como una restricción sobre el potencial de crecimiento de la economía.

En ese mismo sentido, se entiende que la condición de esencialidad y la aparente contradicción que lleva asociada constituyen construcciones *ad hoc* del sistema económico y del papel de los recursos naturales que no se corresponden con las realidades biofísicas que involucran el proceso productivo y el crecimiento económico⁷⁰ y

⁶⁹ Amén de las observaciones indicadas, Baumgärtner (2004) aporta una prueba del conflicto entre la formalización económico-matemática y las restricciones físicas al demostrar que la aplicación de las condiciones de Inada (una de las propiedades básicas de la función de producción neoclásica) a los materiales es inconsistente con el principio de balance de masa (primera ley de la termodinámica).

⁷⁰ Un ejemplo de ello es el uso de funciones de producción con dos factores por parte de Dasgupta y Heal (1974, 1979) en sus disertaciones acerca de la política óptima de agotamiento de recursos y producción en presencia de estos. Tales autores se valen de una forma funcional así caracterizada para centrar su atención en las posibilidades de sustitución y elegir la importancia de las mismas, concluyendo lo que vislumbran desde un principio como punto de partida.

que, en cambio, coadyuvan a alimentar una visión preanalítica del mencionado sistema en la que la naturaleza y sus servicios no se consideran relevantes.

Es así como se sugiere relevar la noción de factor esencial utilizada por la teoría neoclásica, junto con la sustituibilidad que soterradamente y de diversas maneras se le adjudica, por la de *factor limitante* indicada por Daly (1994, p. 54), que reconoce la complementariedad dominante en los procesos productivos de la economía como un todo.

La noción de factor limitante permite tener en cuenta la esencialidad que desde una perspectiva física presentan la energía y los materiales en toda producción material, la cual se traduce en restricciones a la expansión de la economía impuestas por el medio natural (Daly, 1999c, p. 19). En tal sentido, también consiente llamar la atención sobre las implicaciones de la escasez física de un recurso en cuanto a la vulnerabilidad resultante de la carencia real o potencial de éste –un aspecto que no se refleja adecuadamente en los cambios de precio esperables ante la ruptura del suministro del recurso en cuestión.

De este modo, una conceptualización de la producción que considere la fuerte interdependencia entre los elementos productivos y el carácter limitante de los recursos naturales redundaría en la adopción de representaciones exactas y sistemáticas de la realidad económica y biofísica que, a diferencia de las funciones matemáticas usuales, no asuman que tales elementos y recursos existen separadamente y son sustituibles entre sí.

CAPÍTULO 3.

EL CAMBIO TECNOLÓGICO: SU CONCEPCIÓN Y SUS VÍNCULOS CON EL CAPITAL Y LOS RECURSOS NATURALES EN LAS TEORÍAS DEL CRECIMIENTO

La tecnología es concebida por los economistas convencionales como el conocimiento de las combinaciones de capital y trabajo que le permiten a las empresas elaborar productos que satisfacen una demanda efectiva, de lo que se colige que el cambio o progreso tecnológico consiste en la ampliación y mejoramiento del conjunto de técnicas de producción con miras a proporcionar mayores bienes y servicios a la sociedad.

En general, las vertientes contemporáneas más importantes de la economía consideran que el cambio técnico es el “motor” del crecimiento económico; de ahí que sea precisamente en las teorías del crecimiento donde de modo más directo se aprecien las concepciones de esta disciplina sobre el progreso tecnológico. La dilucidación de dichas concepciones y de sus relaciones con el capital y los recursos naturales, mediante el análisis de tales teorías, es el propósito del presente capítulo.

En pos de este objetivo, el capítulo se desarrolla en cinco secciones. En la primera, se presentan las definiciones generales de tecnología y cambio tecnológico al igual que se pone de relieve la distinción schumpeteriana entre invención e innovación.

El segundo acápite trata los diferentes planteamientos en torno al cambio tecnológico y el crecimiento que se han gestado a lo largo del desarrollo de la teoría económica dominante, enfatizando en dos de ellos. De un lado, se retoma a Schumpeter quien, al postular que el desenvolvimiento económico es estimulado por innovaciones, sienta las bases de nuevos enunciados tanto ortodoxos como heterodoxos, entre los cuales se incluyen la rama de modelos de crecimiento endógeno por escaleras de calidad. De otro lado, la propuesta de la corriente principal de la economía a través del modelo neoclásico de Solow-Swan y las nuevas teorías del crecimiento, en las que el crecimiento es conducido por el progreso tecnológico exógeno o endógeno, respectivamente.

En el tercer apartado se busca principalmente elucidar algunos vínculos conceptuales entre el cambio tecnológico y el capital. Con este fin, se examinan algunas variantes de la teoría moderna del crecimiento económico, a saber, el progreso técnico incorporado en el capital y los modelos lineales de crecimiento endógeno, mostrándose los resultados que de estas variantes se desprenden en cuanto a la explicación del cambio tecnológico.

Dado que la tecnología cambia en virtud de la generación de nuevas ideas, muchos economistas tienden a creer que el progreso tecnológico es ilimitado y “salvará” a la humanidad de los problemas asociados al agotamiento y/o degradación de los recursos naturales. En la cuarta sección se pretende indicar, a la luz de la teoría económica vigente y de las leyes físicas, la falibilidad de esta postura optimista; para ello, se ponen de manifiesto las inconsistencias y contradicciones presentes en algunas de las concepciones y modelos más representativos sobre los nexos entre el cambio tecnológico, el crecimiento económico y los recursos naturales.

Por último, se hace una síntesis apretada de los aspectos abordados en el capítulo y se analizan en detalle algunos de los supuestos subyacentes en los planteamientos presentados en el segundo apartado. De este análisis se destaca que el cambio tecnológico es interpretado por los economistas como un factor productivo que puede sustituir los otros elementos de la producción, sustentando de esta manera la poca atención que estos científicos le dan a los recursos naturales y que se manifiesta ciertamente en su posición optimista, posición que a su vez soslaya que el rasgo del progreso tecnológico señalado le confiere a éste restricciones termodinámicas.

1. TECNOLOGÍA, INVENCIÓN E INNOVACIÓN: UNA BREVE INTRODUCCIÓN

La tecnología es vista por los economistas neoclásicos como un bien muy distinto a los bienes materiales toda vez que consiste en una *fórmula* o *conocimiento* que permite a las empresas combinar el capital y el trabajo con el fin de producir un producto que satisfaga una demanda (Barro y Sala-i-Martin, 2004, p. 24; Sala-i-Martin, 2000).

Así las cosas, se conoce como cambio tecnológico a la expansión del conjunto de tecnologías de producción disponibles y, por ende, al mejoramiento de las instrucciones para la combinación de los factores productivos a lo largo del tiempo (Heathfield, 1974, p. 41). En la medida que dicho cambio contribuye al incremento de la producción de manera desproporcionada en comparación con el esfuerzo y el costo necesario para llevarlo a cabo, brindándole a la sociedad un mayor bienestar (entendido como disposición sobre bienes y servicios), se le denomina con el término *progreso tecnológico* (Mokyr, 1993).

Los teóricos del crecimiento han considerado que el progreso tecnológico tiene lugar en el tiempo, haciendo que la función de producción se desplace continuamente; por tal razón, han modelado este progreso introduciendo la variable tiempo (continuo) en dicha función del siguiente modo:

$$Q = F(K, L; t) \tag{3.1}^1$$

Adicionalmente, han planteado que todo progreso tecnológico (por ejemplo, un cambio organizacional) está referido a uno o a todos los factores de la función de producción, pero se refleja principalmente en el parámetro de eficiencia (A). Sin embargo, este procedimiento de modelación arroja pocas luces sobre la *naturaleza* y el *carácter* del cambio tecnológico.

A ese respecto, Mokyr (1993, p. 12) postula que la tecnología cambia gracias a la creatividad humana, por la que los hombres conciben ideas o acciones nunca logradas antes. Ahora bien, muchos economistas argumentan que, en términos generales, no existe razón *a priori* para creer que la generación de nuevas ideas declinará en el futuro, por lo que caracterizan el cambio tecnológico como autogenerador “automático” y “creciente exponencialmente” (Cleveland, 1987, p. 68). Esta postura se corresponde con una actitud optimista en la que no se descarta un progreso tecnológico sin límites² que provea a la sociedad de un “almuerzo gratis” (*a free lunch*).

¹ No obstante, téngase en cuenta la nota 13 del primer capítulo.

² Tal como lo enuncian Solow (1974a, p. 40) y Dasgupta y Heal (1979, p. 199), la noción de progreso tecnológico ilimitado, aunque improbable, no es absurda.

Se ha planteado que el cambio tecnológico tiene lugar a medida que se presentan *innovaciones en los productos*, que contribuyen a la producción de bienes completamente nuevos (y que conllevan la creación de nuevas funciones de producción), e *innovaciones en los procesos*, que comportan el diseño y la puesta en marcha de procesos que reducen los costos de producir bienes ya existentes al igual que la eliminación de métodos productivos ineficientes (los cuales dejan a su vez de ser representados por una determinada forma de la función de producción)³.

Más adelante, se profundizará en el concepto de innovación y en la importancia económica del fenómeno al que alude. Por el momento, vale la pena destacar la distinción –común entre los economistas– entre invención e innovación que bien pone de presente Vegara (1989, cap. 1). De acuerdo con este autor, la invención puede ser considerada básicamente como generación de nueva información, ya que consiste en la creación de ideas o diseños caracterizados por la novedad; en tal sentido, no necesita tener consecuencias prácticas (esto es, en la producción de nuevos objetos o sistemas operacionales). Por su parte, la innovación tecnológica es el acto o proceso consistente en el acoplamiento, en un ámbito espacial preciso, de una nueva oportunidad tecnológica con una demanda solvente y se hace efectiva cuando es aceptada en el mercado.

Las definiciones anteriores dan cuenta de las razones por las cuales el concepto de innovación ha desempeñado un papel más importante en la economía que el concepto de invención (Ruttan, 1979, p. 67) y, en últimas, sustentan la posición de Schumpeter (1946, p. 24), para quien las invenciones son experimentaciones “... que no ejercen por sí mismas influencia alguna sobre el aparato económico”.

2. LA TECNOLOGÍA EN LA ECONOMÍA NEOCLÁSICA: DE LA DISPERSIÓN CONCEPTUAL A LA CONFLUENCIA EN LA EXPLICACIÓN DEL CRECIMIENTO

En un principio, los planteamientos en torno a la tecnología y la organización son dispersos y se enfocan en diversas categorías, algunas de ellas no fácilmente

³ El efecto de la innovación en los procesos se representa gráficamente por un desplazamiento hacia arriba de la función de producción o por un desplazamiento hacia abajo de la isocuanta de producción. Estos desplazamientos ilustran que se puede obtener el mismo volumen de producción con menos insumos de factores, o un volumen de producción mayor con los mismos insumos.

distinguibles de las que se han abordado hasta el momento en el presente trabajo⁴; empero, en el siglo XX, se observa una convergencia hacia ciertos conceptos y autores.

Es así como Jevons plantea que la invención es importante porque permite encontrar la clave para todas las variedades de cambio en lugar o tipo de las cuales es capaz la naturaleza. Para este autor, la invención consiste en descubrir las operaciones mecánicas o químicas que son útiles y practicables en términos comerciales y tiene las siguientes condiciones:

1. Un *propósito* distinto, que surge de una necesidad urgente de nuevos medios para contribuir a un fin dado;
2. Un nuevo *principio*, o modo por el cual se va a contribuir;
3. El material, la energía y la habilidad para incorporar este principio en una máquina exitosa –en pocas palabras, la *construcción*

(Jevons, 1865, pp. 79-80, 151).

Se puede ver, entonces, que para el inglés la invención es un acto que posibilita la acción de la naturaleza tendiente a provocar cambios de diversa índole; pero, asimismo, dicho acto debe procurar que los cambios suscitados sirvan una utilidad a la sociedad y sean viables desde el punto de vista comercial.

En este orden de ideas, Jevons (1865, p. 152) esboza que todas las invenciones sostienen vínculos de dependencia mutua, de manera que el logro de una invención ayuda al desarrollo de éxitos previos y al alcance de nuevos descubrimientos, incrementando así la variedad y escala de aplicación de las distintas invenciones.

Por otra parte, Walras (1987, lección 36) sostiene que el progreso consiste en la disminución de la escasez (*raretés*) de los productos juntamente con un aumento de la población. Este autor distingue entre dos tipos de progreso, a saber:

- *Progreso económico*: este progreso tiene lugar solamente por la variación del valor de los coeficientes de producción debido a la disminución del uso de los servicios de la tierra y el aumento del uso de los servicios del capital.

⁴ En efecto, muchos antiguos economistas confundieron con frecuencia los inventos y descubrimientos con el capital.

- *Progreso técnico*: en éste, "... cambia la propia naturaleza de los coeficientes de producción por la utilización de distintos servicios productivos y el abandono de otros".

De acuerdo con lo anterior, el progreso económico se refiere a modificaciones del equilibrio sobre una misma función de producción, en tanto que el progreso técnico se refleja en desplazamientos de la función de producción, es decir, en cambios de la característica funcional ϕ de $Q = \phi(A, B, C, \dots)$ (Walras, 1987, Nota del traductor S1, pp. 801-802).

Adicionalmente, el francés plantea que, si la disminución de la escasez tiene un carácter indefinido (en virtud de la multiplicación indefinida de productos), entonces el progreso es indefinido. Ello sólo es posible en razón de que tenga lugar una sustitución progresiva, aunque nunca total, de los servicios de la tierra por los servicios de los bienes de capital en la producción (Walras, 1987, pp. 622-623).

Con ello, el autor sugiere implícitamente que, aunque la tierra sea un factor limitado, los bienes de capital, constituidos por productos, pueden aumentar y reemplazar a ésta de manera indefinida; por lo tanto, el progreso (económico) ocurre en la medida que se presenta la sustitución mencionada.

Es de resaltar que Walras enuncia que ambos tipos de progreso se presentan conjuntamente en la realidad y obedecen a causas distintas; así, el progreso técnico es provocado por la ciencia mientras que el progreso económico es resultante del ahorro (Walras, 1987, p. 627).

Así las cosas, puede decirse que el fundador de la escuela lausana ciertamente sienta algunas de las bases de las teorías pioneras del crecimiento económico (modelos de Harrod-Domar y de Solow-Swan), según se entienda la disminución de los servicios de la tierra y el aumento de los servicios del capital en términos relativos, es decir, como acumulación de capital, y la financiación de este proceso como ahorro.

A diferencia de los autores anteriormente mencionados, Wieser (1893, Book III, Part I, ch. 11) enfoca su atención en la técnica y afirma que ésta es el arte de hacer el mejor uso de los instrumentos productivos, de manera que cada cambio (avance) en ella implica modificaciones en el plan de producción de los distintos bienes, es decir, reacomodos en la disposición y destinación de los recursos productivos tendientes a alterar (mejorar) la cantidad o la calidad de los productos.

En ese sentido, este autor señala que cuando las mejoras se producen en la calidad de los productos, se incrementa el valor de los mismos, y, de otro lado, si la mejora consiste en el aumento de la cantidad, entonces disminuye el valor del producto individual pero, al mismo tiempo, la suma de valor de todos los productos tomados en su conjunto crece.

Siguiendo con los economistas austríacos, Menger (1871, cap. III, § 3c)) orienta su interés hacia la *actividad empresarial* y postula que ésta es un bien de orden superior que condiciona, bajo cualquier circunstancia, el proceso de transformación de determinados bienes de orden superior en otros de órdenes inferiores o del primer orden.

De acuerdo con este autor, la actividad empresarial consiste en la realización de los cálculos económicos que sirven de base para la producción y el encaminamiento de los respectivos bienes de orden superior hacia dicho proceso⁵. Ésta es preparada y dirigida por un sujeto económico, el empresario, que interviene a través de sus personales prestaciones laborales técnicas.

Con una preocupación ligeramente similar a la de Menger, Marshall (1948, Libro IV, p. 120) introduce la *organización* como elemento productivo señalando que ella es resultado del trabajo del hombre ayudado por la Naturaleza y guiado por su facultad de prever el futuro y su disposición para establecer provisiones para el porvenir.

⁵ “La actividad empresarial abarca: a) la información sobre la situación económica; b) la totalidad de los cálculos requeridos como base de partida, si es que el proceso de producción ha de ser un proceso económico, o dicho con otras palabras, el cálculo económico; c) el acto de la voluntad, mediante el cual unos determinados bienes de orden superior (...) son destinados a una determinada producción, y finalmente d) la vigilancia para la ejecución más económica posible de los planes de producción”. Menger, Carl. *Principios de Economía Política*. Traducción de Marciano Villanueva. Barcelona: Folio, 1996, cap. III, pie de página 17.

Según este autor, la organización incrementa la eficiencia y se manifiesta principalmente en la división de las funciones (división del trabajo) y su concomitante integración e interdependencia en la producción; esta forma de organización influye significativamente en el desarrollo de maquinaria –cuando la división del trabajo da lugar a operaciones uniformes– que, a su vez, incide en el aumento de la escala de producción⁶ y en la mayor complejidad de la misma, especialmente en lo que atañe a la dirección de los negocios (Marshall, 1948, Libro IV, caps. VIII-XII).

Adicionalmente, Marshall (1948, Libro IV, cap. III) observa que las mejoras en los procedimientos productivos (de la agricultura) y la organización compensan la tendencia al rendimiento decreciente, que se presenta por la presión del crecimiento de la población sobre los medios de subsistencia (y que conlleva un aumento del trabajo y el capital aplicados al cultivo de un terreno); sin embargo, también hace notar que esta compensación no tiene lugar indefinidamente, siendo la ley de los rendimientos decrecientes inexorable.

2.1. SCHUMPETER: LA INNOVACIÓN Y EL DESENVOLVIMIENTO ECONÓMICO

Pero es Schumpeter quien llama la atención sobre el papel de la innovación como mecanismo que posibilita significativas transformaciones económicas que ameritan un análisis diferente del realizado por el cuerpo teórico dominante, sentando los cimientos de una teoría del desenvolvimiento económico sobre la cual hoy ponen los ojos corrientes tanto ortodoxas como heterodoxas de la economía.

Schumpeter (1957, cap. 2) se manifiesta insatisfecho con la teoría económica vigente porque ésta no reconoce que las perturbaciones que originan las alteraciones en la técnica y en la organización productiva son de un carácter distinto a las perturbaciones del equilibrio estático ocasionadas por aspectos tales como el aumento de capital y los cambios en la población y los gustos de los consumidores.

⁶ De acuerdo con el inglés, “las principales ventajas de la producción a gran escala son la economía de mano de obra, de maquinaria y de materiales, pero esta última va rápidamente perdiendo en importancia en comparación con las otras dos”. Marshall, Alfred. *Principios de Economía*. Traducción de Emilio de Figueroa. Madrid: Aguilar, 1948, p. 233.

Este autor considera que las primeras fuentes de perturbación configuran cambios que se suscitan en el interior de la vida económica de manera espontánea y frente a los cuales los instrumentos de investigación económica disponibles no ofrecen explicaciones, por lo que requieren de una transformación total de dichos instrumentos y de un análisis especial, es decir, de una teoría del “desenvolvimiento” económico⁷.

En este contexto, el austríaco hace hincapié en que las alteraciones señaladas surgen en el ámbito de la producción y la comercialización –no en los consumidores– e introduce el término *innovación* para referirse a la realización de nuevas combinaciones de materiales y fuerzas, que alteran de modo discontinuo la vida económica⁸ al incorporarse en el mercado. En palabras de Schumpeter:

es por medio de combinaciones nuevas de factores productivos existentes, incorporados en plantas nuevas y, típicamente, en empresas nuevas productoras de bienes nuevos, o por un método nuevo, es decir, no probado aún, o para un mercado nuevo, o por la compra de medios de producción en un mercado nuevo. Lo que nosotros llamamos, en forma no científica, progreso económico, significa en esencia el empleo de recursos productivos en usos *no probados hasta ahora en la práctica*, y su retiro de los usos a que han servido hasta ahora. Esto es lo que llamamos ‘innovación’⁹.

Es así que, para Schumpeter, la innovación consiste en la producción de nuevos bienes de consumo, o de bienes existentes previamente pero con materias primas diferentes o mediante procedimientos distintos de producción y transporte que le confieren especial calidad; asimismo, en la apertura de nuevos mercados o bien en la creación de una nueva forma de organización industrial (véase Schumpeter, 1957, p. 77).

⁷ Para Schumpeter (1957, p. 75), el desenvolvimiento es un cambio espontáneo y discontinuo en los cauces de la corriente circular (que constituye la vida económica), que provoca alteraciones del equilibrio que desplazan el estado existente con anterioridad; por consiguiente, la teoría del desenvolvimiento económico es el estudio de este fenómeno y de los procesos que le acompañan.

⁸ A este proceso, de revolución incesante de la estructura económica *desde dentro*, Schumpeter (1996, p. 121) lo denominó de *destrucción creadora* porque opera “destruyendo ininterrumpidamente lo antiguo y creando continuamente elementos nuevos”. De acuerdo con este autor, el proceso de destrucción creadora es incesante en el sentido de que siempre se presenta o una revolución (innovación) o una absorción de los resultados de una revolución, conformando ambos elementos los ciclos económicos.

⁹ Schumpeter, J. “La inestabilidad del capitalismo”. Traducción de Eduardo L. Suárez. En: Rosenberg, Nathan (comp.). *Economía del cambio tecnológico*. México: Fondo de Cultura Económica, 1979, p. 30, subrayados del autor.

Como puede observarse, los tipos de innovaciones que este autor considera comportan elementos de novedad desde el punto de vista de la tecnología y de la organización de la producción y los mercados que irrumpen de manera irregular en el equilibrio competitivo estático asociado a la corriente circular, generando posibilidades de beneficio¹⁰.

En términos de la teoría económica convencional, la definición schumpeteriana de innovación implica cambios en las funciones de producción¹¹ que se traducen en nuevas funciones o en alteraciones en la forma de las ya existentes¹². En este último caso, las formas funcionales modificadas determinan la producción a un menor costo¹³ y, por ende, la constitución de nuevas curvas de oferta (Schumpeter, 1979, p. 30).

Así las cosas, puede decirse que la definición schumpeteriana de innovación tiene una semejanza notable con la definición de progreso técnico esbozada por Walras; sin embargo, a diferencia de este autor, los cambios en las funciones de producción a los que se refiere Schumpeter presentan un carácter repentino e intermitente¹⁴ y entrañan a su vez y del mismo modo alteraciones en el equilibrio de libre competencia.

¹⁰ “La introducción de nuevos métodos de producción y de nuevas mercancías es difícilmente concebible si existe desde un principio una competencia perfecta y perfectamente rápida. Y esto significa que casi todo lo que llamamos progreso económico es incompatible con ella. De hecho la competencia perfecta se suspende y se ha suspendido siempre que se ha introducido alguna novedad –bien automáticamente o en virtud de medidas adoptadas para este fin–, aun cuando en todo lo demás las condiciones siguiesen siendo de competencia perfecta”. Schumpeter, Joseph A. *Capitalismo, Socialismo y Democracia*. 2 tomos. Traducción. Barcelona: Folio, 1996, Tomo 1, p. 147.

¹¹ En concordancia con su definición de producción, este autor define la función de producción como una descripción de una combinación de medios de producción (Schumpeter, 1957, p. 90). Sin embargo, a diferencia de la formulación neoclásica y como manifestación del influjo que en él ejercieron los planteamientos de Böhm-Bawerk, la función de producción que enuncia Schumpeter excluye el capital y sólo considera como insumos al trabajo y la tierra (Ruttan, 1979, p. 68).

¹² De acuerdo con Schumpeter, una variación en la forma de la función de producción representa una innovación. Cuando ésta consiste en la creación de un producto nuevo, una forma nueva de organización industrial o la apertura de nuevos mercados, entre otros aspectos distintos de la producción de un bien existente con un método diferente, la innovación se describe como la creación de una nueva función de producción (Schumpeter, 1964, p. 62).

¹³ “... the old total or marginal cost curve is destroyed and a new one put in its place each time there is an innovation.” Schumpeter, Joseph A. *Business Cycles. A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. New York: McGraw-Hill, 1964, p. 64.

¹⁴ “Estos cambios ... en los procedimientos seguidos es lo que llamamos ‘innovación’ y que definimos como cambios en las funciones de producción que no pueden subdividirse en etapas infinitesimales”. Schumpeter, Joseph. “Análisis del cambio económico”. Versión española dirigida por Víctor L. Urquidí. En: Haberler, Gottfried (comp.). *Ensayos sobre el ciclo económico*. México: Fondo de Cultura Económica, 1946, p. 21.

De igual modo, cabe resaltar que, debido a la definición y tipos de innovación que plantea este autor y al énfasis que pone en la puesta en marcha de métodos no ensayados previamente, Schumpeter (1964, p. 59; 1979, p. 30) argumenta que la innovación es posible sin el empleo de invenciones. De hecho, el austríaco considera que la invención no induce necesariamente innovación¹⁵; pero que, si así fuera, ello no modificaría la naturaleza del proceso innovador.

También, es de anotar la gran importancia que Schumpeter (1957, pp. 84-86; 1979, pp. 31-32) concede al empresario en el desenvolvimiento económico en tanto este individuo es el encargado de dirigir la innovación, o sea, es quien tiene el liderazgo y la voluntad para llevar efectivamente a la práctica las nuevas combinaciones, haciendo lo que no se ha realizado anteriormente.

En ese sentido, este autor destaca que la duración del ejercicio de la función innovadora define la condición del empresario –valga decir, sólo se es empresario mientras se dirige la innovación–; por tal razón, éste no necesariamente tiene vínculos con un negocio particular a través de una ocupación como empleado o director/accionista. Estas aseveraciones reflejan una concepción del empresario claramente distinta de la postulada por Menger, para quien la función del empresario está referida básicamente a la posición del director de operaciones (preestablecidas).

Aun cuando para Schumpeter la innovación y los procesos asociados a ella hacen posible el desenvolvimiento económico al actuar como *mecanismo de cambio*¹⁶, estos tienen una importancia diferente de acuerdo con los dos tipos históricos de capitalismo que distingue, a saber, el capitalismo de competencia o competitivo (*Competitive Capitalism*) y el capitalismo monopolizado o monopólico (*Trustified Capitalism*).

De esta manera, se tiene que, en el capitalismo competitivo, la innovación se manifiesta en la fundación de empresas, por lo que el empresario es el portador del mecanismo de

¹⁵ “Las invenciones carecen de importancia económica en tanto que no sean puestas en práctica. Y la aplicación de cualquier mejora es una tarea completamente diferente de su invención”. Schumpeter, Joseph A. *Op. cit.*, 1957, p. 98.

¹⁶ “The changes in the economic process brought about by innovation, together with all their effects, and the response to them by the economic system, we shall designate by the term Economic Evolution.” Schumpeter, Joseph A. *Op. cit.*, 1964, p. 61.

cambio económico. En cambio, en el capitalismo monopólico la innovación tiene lugar en los departamentos científicos y de producción experimental de las grandes unidades de negocios existentes, en buena medida de manera independiente del liderazgo y la iniciativa individual, razón por la cual se diluye ciertamente la preponderancia otorgada al empresario (Schumpeter, 1979, pp. 36-37)^{17, 18}.

Pese a los importantes aportes de Schumpeter –algunos de los cuales han sido retomados en los últimos años, como se verá más adelante¹⁹–, cabe resaltar que este autor no desarrolla una teoría sobre la innovación ni el cambio tecnológico ya que, como se ha visto, su interés se centra en el análisis del desenvolvimiento económico y en el papel de la innovación como mecanismo que potencia dicha transformación.

2.2. LAS TEORÍAS DEL CRECIMIENTO ECONÓMICO Y EL PROGRESO TECNOLÓGICO

Como se ha visto, la función de producción expresa una relación entre el producto y los factores productivos, amén de la forma misma de la función, $\phi(\cdot)$. En consecuencia, si el producto está aumentando, se estima que ello obedece al crecimiento de los factores y a los cambios en la forma funcional ϕ , es decir, retomando la conceptualización walrasiana, al progreso técnico.

Una característica común de las teorías neoclásicas del crecimiento económico es que consideran que, a diferencia del capital y el trabajo, el conocimiento tecnológico es un bien *no rival*, lo que significa que éste puede ser utilizado en una actividad económica sin

¹⁷ “Lo primero que un *concern* (compañía o establecimiento manufacturero o comercial) moderno hace, tan pronto como se siente con medios para ello, es establecer un departamento de investigación en el que cada uno de sus miembros sabe que su pan depende del éxito que alcance en descubrir mejoras”. Schumpeter, Joseph A. *Op. cit.*, 1996, p. 137.

¹⁸ En tal sentido, algunos autores han sugerido un viraje en el pensamiento de Schumpeter desde la publicación de *Teoría del Desenvolvimiento Económico* (1912) hasta *Capitalismo, Socialismo y Democracia* (1946). Dicho viraje radica en la incorporación de las actividades científicas y técnicas llevadas a cabo por las grandes empresas y que inducen la sustitución del empresario innovador por un tipo de innovación burocratizada (Vegara, 1989, pp. 158-160).

¹⁹ En el presente trabajo se examinan las contribuciones (directas e indirectas) de los planteamientos schumpeterianos a las teorías del crecimiento endógeno, excluyéndose aquellas hechas a la corriente evolucionista de la innovación y el cambio tecnológico, dado que los aspectos que aborda este último enfoque escapan a los objetivos de este estudio y no corresponden a los abordados por la corriente neoclásica en sus diversas variantes.

reducir o impedir su uso simultáneo en otra(s) (Sala-i-Martin, 2000, p. 168). Como se verá, este atributo tiene consecuencias importantes en términos de las interacciones entre cambio tecnológico y crecimiento económico²⁰.

En particular, los economistas neoclásicos han observado que los rendimientos decrecientes imposibilitan mantener el crecimiento del producto *per capita* durante un periodo sostenido, si dicho crecimiento se sustenta únicamente en la acumulación de capital por trabajador. Por tal razón, y teniendo en cuenta la consideración mencionada anteriormente, dichos economistas han intentado explicar el crecimiento económico a largo plazo introduciendo una variable de mejoramiento tecnológico que, en el modelo de Solow-Swan, es de carácter exógeno, en tanto que en los modelos de crecimiento endógeno se relaciona con las decisiones de inversión en tecnología (Hounie *et al.*, 1999).

En ese sentido, puede decirse que los economistas neoclásicos retoman el planteamiento marshalliano sobre la tendencia de las mejoras en los procedimientos productivos y de la organización a compensar los rendimientos decrecientes; empero, cabe tener en cuenta también la observación que hace el inglés referente a que dicha compensación no se puede llevar a cabo *ad infinitum*.

2.2.1. El progreso tecnológico exógeno

El modelo de Solow, que tuvo una influencia notable hasta mediados de la década del ochenta del siglo pasado, tipifica en buena medida la teoría neoclásica del crecimiento económico toda vez que está orientado hacia la construcción de una teoría del crecimiento con pleno empleo de los recursos productivos, esto es, del crecimiento del producto *potencial* (Solow, 1956; Branson, 1977; D'Agata y Freni, 2004, p. 34). Este modelo asume que la economía se caracteriza por una función de producción neoclásica de dos factores (trabajo y capital) y demuestra que, en ausencia de progreso técnico, a largo plazo la tasa de crecimiento del producto *per capita* tenderá a cero (véase Anexo 3).

²⁰ Es importante resaltar que este mismo atributo se le adjudica a las instituciones, de modo que éstas también pueden afectar la producción de una economía. Sin embargo, es inviable alcanzar un crecimiento económico sostenido a través de una secuencia interminable de mejoras en las instituciones y las políticas gubernamentales.

Esta tendencia guarda relación con el carácter decreciente de la productividad marginal del capital propio de la función de producción neoclásica. En efecto, tal supuesto implica que la acumulación de dicho factor traerá consigo la merma de sus rendimientos, desalentando la inversión real, de manera que a largo plazo esta última apenas alcanza para cubrir la depreciación del acervo de capital existente y equipar a la nueva mano de obra que se incorpore a la producción. Hechas estas consideraciones, se define un estado de crecimiento estable (crecimiento de estado estacionario) en el que el producto crece a igual tasa que la población activa.

En contraste con este razonamiento básico, Solow (1956) demuestra que para lograr un ritmo de crecimiento mayor, con el cual el producto por habitante aumente de forma sostenida, se requiere un cambio tecnológico exógeno al sistema económico, es decir, que se genere sin la intervención de los agentes de la economía (Hounie *et al.*, 1999, pp. 10-11)²¹.

Tal demostración se corresponde con el postulado de competencia perfecta en todos los mercados (tanto los de productos como los de factores) que identifica a los modelos de equilibrio general –como lo es el de Solow-Swan–, así como con el Teorema de Euler que distingue a las funciones de producción homogéneas de grado uno –como lo es la función neoclásica–, y que se traduce en que el pago de las remuneraciones al empleo de los factores de producción agota el producto total²² (véase Anexo 1, Propiedad 3).

Las proposiciones anteriores implican que en la economía representada por el modelo en cuestión *no se pueden dedicar recursos para financiar el progreso tecnológico* (Sala-i-Martin, 2000, pp. 42-43, 167)²³. Por tal razón, Solow, Swan y otros economistas presuponen que el progreso tecnológico es exógeno y plantean que éste puede tomar

²¹ Así las cosas, en la teoría neoclásica del crecimiento el largo plazo se define por un estado estacionario en el que la tecnología, el producto, el consumo, entre otros aspectos varían a tasas iguales; sin embargo, dado que el cambio tecnológico ocurre por fuera de la economía, las tasas de crecimiento referidas se determinan del mismo modo.

²² De este último postulado se deriva, asimismo, que la teoría neoclásica del crecimiento intente extender la ley de la distribución –esencialmente estática, como se ha dicho– a un contexto “dinámico”.

²³ Esta implicación fue señalada por primera vez por Karl Shell en 1966.

diversas formas, según que las invenciones permitan producir una misma cantidad de producto con relativamente menos de un factor productivo o no²⁴.

De esta manera, se enuncian tres definiciones diferentes de progreso tecnológico exógeno, de acuerdo con los efectos sobre la relación marginal de sustitución entre los factores de la producción. Dichas definiciones son las siguientes:

- Progreso técnico neutral (en el sentido de Hicks) o insesgado:

Esta definición fue formulada por Hicks, quien plantea que una innovación tecnológica es neutral si la razón entre las productividades marginales de los factores permanece constante para una proporción entre el capital y el trabajo dada. Esta propiedad corresponde a una reenumeración de las isocuantas²⁵ o, en palabras de Solow (1956), a "... desplazamientos de la función de producción cuando dejan intactas las tasas marginales de sustitución y sólo aumentan o disminuyen la producción obtenible de insumos dados". Así las cosas, las funciones de producción con progreso técnico neutral *à la* Hicks pueden escribirse como

$$Y = A(t) \cdot F(K, L) \tag{3.2}$$

donde $A(t)$ es el factor de cambio tecnológico, $A(t)$ y $\dot{A}(t) \geq 0$, y $F(\cdot)$ es una función homogénea de grado uno.

En este caso, el progreso técnico es *augmentativo de la productividad total de los factores* porque el producto marginal tanto del capital como del trabajo se incrementan en la misma proporción (Barro y Sala-i-Martin, 2004, p. 52; Koutsoyiannis, 1985, p. 98; Sala-i-Martin, 2000, pp. 117-118).

²⁴ Cada uno de estos tipos de progreso técnico puede cambiar la forma, o producir un desplazamiento, de la curva isocuanta de producción.

²⁵ Gráficamente, la curva isocuanta de producción se desplaza hacia abajo en forma paralela a sí misma.

- Progreso técnico intensificador de mano de obra (neutral en el sentido de Harrod):

Harrod define una innovación como neutral si las participaciones relativas de los factores, $(K \cdot F_K)/(L \cdot F_L)$, permanecen inalteradas para una determinada relación capital-producto; de esta manera, la relación de productividades marginales disminuye ante una razón capital-trabajo constante. Según Robinson y Uzawa, esta condición implica que la función de producción toma la forma

$$Y = F(K, L \cdot A(t)) \quad (3.3)$$

en la que $A(t)$ es el factor de cambio que depende del tiempo, $A(t)$ y $\dot{A}(t) \geq 0$, y $F(\cdot)$ es, similarmente, una función homogénea de grado uno.

En este caso, el progreso técnico es *ahorrador*, *potenciador*, *intensificador* o *aumentativo de trabajo* porque incrementa el producto marginal del trabajo en mayor medida que el producto marginal del capital, permitiendo generar la misma cantidad de producto con relativamente menos trabajo²⁶; en otras palabras, porque su efecto sobre el aumento del producto es el mismo que el de un incremento en la mano de obra (Barro y Sala-i-Martin, 2004, p. 52; Koutsoyiannis, 1985, p. 98; Sala-i-Martin, 2000, p. 118).

Es de resaltar que Uzawa y Phelps demostraron que este tipo de progreso técnico es el único consistente con la existencia de una razón capital-trabajo estable de estado estacionario en una economía con progreso técnico exógeno neutral debido a que solamente esta definición de progreso técnico permite mantener la razón capital-producto constante en el tiempo (Sala-i-Martin, 2000, p. 118; Barro y Sala-i-Martin, 2004, ch. 1).

Asimismo, cabe subrayar que es posible que el progreso técnico sea neutral tanto en el sentido de Hicks como en el sentido de Harrod y en el de Solow cuando la función de producción posee elasticidad de sustitución unitaria. (Un ejemplo al respecto es la función de producción Cobb-Douglas, como se ilustra en el Anexo 2.) Este enunciado garantiza la consistencia entre las diversas definiciones de progreso tecnológico exógeno, por lo que

²⁶ Esta forma de progreso técnico se representa gráficamente mediante un desplazamiento hacia debajo de la curva isocuanta simultáneo a un aumento de la pendiente de la misma.

se hace innecesaria la distinción de dichas definiciones en la formulación de modelos de crecimiento. Más adelante se examinarán las consecuencias de tal enunciado para la teoría neoclásica del crecimiento con recursos naturales.

- Progreso técnico intensificador de capital (neutral en el sentido de Solow):

Esta definición se debe a Solow, para quien el progreso técnico es neutral si las participaciones de los *inputs* relativos, $(L \cdot F_L)/(K \cdot F_K)$, permanecen sin cambio para una razón mano de obra-producto dada; de este modo, la relación de productividades marginales aumenta ante una razón capital-trabajo constante. Esta condición implica una función de producción de la forma

$$Y = F(K \cdot A(t), L) \tag{3.4}$$

donde $A(t)$ es el factor de cambio, $A(t)$ y $\dot{A}(t) \geq 0$, y $F(\cdot)$ es, asimismo, homogénea de grado uno.

En este caso, el progreso técnico es *ahorrador*, *potenciador*, *intensificador* o *aumentativo de capital* porque incrementa el producto marginal del capital en mayor medida que el producto marginal del trabajo, permitiendo generar la misma cantidad de producto con relativamente menos capital²⁷; en otras palabras, porque acrecienta la producción del mismo modo que un aumento en el *stock* de capital (Barro y Sala-i-Martin, 2004, pp. 52-53; Koutsoyiannis, 1985, p. 97).

De las definiciones anteriores, puede observarse que el progreso tecnológico exógeno comporta cambios en la función de producción de manera semejante a la propuesta por Schumpeter. Sin embargo, a diferencia de este autor, este tipo de cambio tecnológico presenta un carácter continuo y no da lugar a discontinuidades en el equilibrio general competitivo de la economía.

²⁷ Este tipo de progreso técnico se representa de manera gráfica por un desplazamiento hacia abajo de la isocuanta de producción; pero, a diferencia del progreso técnico neutral *à la* Harrod, la pendiente de dicha curva disminuye (ver nota anterior).

También es de destacar que, aun cuando las definiciones anteriores caracterizan el progreso técnico, no explican su origen –de la misma manera que Schumpeter tampoco lo hace– y, en consecuencia, dejan sin esclarecer la principal fuente a la que se le atribuye el crecimiento económico, lo que le resta pertinencia analítica al modelo de Solow-Swan.

2.2.2. El progreso tecnológico endógeno²⁸

De lo anterior se colige que el abandono de alguno de los supuestos neoclásicos de la teoría esbozada por Solow y Swan permitiría construir una teoría que explique el crecimiento a largo plazo. En ese sentido, se pone de presente desarrollar modelos que asuman que la función de producción no es neoclásica, la ausencia de competencia perfecta o el relajamiento de alguna otra premisa (Sala-i-Martin, 2000, p. 43).

Es así como surgen los modelos de crecimiento endógeno, que niegan la exogeneidad del cambio tecnológico y cuestionan el carácter decreciente de los rendimientos marginales del “capital”, entendido como el conjunto de factores productivos que se consideran acumulables (incluyendo el capital físico, el capital humano e, incluso, el propio acervo de conocimientos). Estos modelos postulan, por un lado, un marco de competencia imperfecta que posibilita remunerar la innovación intencional de los empresarios y, por otro, suponen que los efectos externos (externalidades) provocados por dicha innovación evitan que la tasa de crecimiento del producto converja hacia la tasa de crecimiento de la población activa (Hounie *et al.*, 1999, p. 11).

En el marco de los modelos de crecimiento endógeno, el conocimiento tecnológico se entiende como un bien público no puro, debido a su doble carácter de bien no rival y parcialmente excluible²⁹. Esto quiere decir, de un lado, que el conocimiento tecnológico puede ser empleado por un número indeterminado de empresas y durante innumerables

²⁸ Las siguientes consideraciones remiten a la influencia de las actividades de I + D en el crecimiento económico, con lo que se excluyen otras formas de cambio tecnológico –por ejemplo, las derivadas del aprendizaje en la práctica (*learning by doing*) y la formación de capital humano– que o bien se considerarán en secciones posteriores o bien no revisten importancia para el tratamiento del progreso tecnológico en el sentido que se le pretende dar en este trabajo.

²⁹ En particular, Romer (1990, 1994) considera que Solow trata la tecnología como un insumo público que, al ser provisto de manera exógena, es a la vez no excluible y no rival.

periodos sin desgaste ni costos adicionales³⁰, y, de otro, que su creador sólo puede apropiarse de una parte de los resultados económicos derivados de su utilización (Hounie *et al.*, 1999, p. 12).

Contrario a la teoría neoclásica del crecimiento, los modelos de crecimiento endógeno consideran que la no rivalidad del conocimiento tecnológico le confiere a la producción rendimientos crecientes a escala, asegurando de esta manera la existencia de recursos suficientes para financiar las actividades de investigación y desarrollo de tecnologías (I + D). Esta consideración es representada mediante la utilización de formas funcionales homogéneas de grado mayor que uno.

En el mismo orden de ideas, estos modelos distinguen entre el conocimiento general y el específico, ambos derivados de la I + D. El conocimiento general tiene una aplicación amplia y, en consecuencia, es de difícil exclusión, ya que el establecimiento de normas para legitimar la propiedad sobre este tipo de saber (principios universales) es costoso. En cambio, el conocimiento específico permite a una firma manufacturar un determinado producto o incorporar cierto proceso productivo, siendo susceptible de protegerse temporalmente mediante derechos de propiedad intelectual (en particular, patentes o secretos) que lo tornan un bien económico excluible (Hounie *et al.*, 1999, p. 13).

Es así que la posibilidad de exclusión parcial obedece a la existencia de externalidades o derrames tecnológicos (*spillover*) originados por la adquisición automática de los conocimientos creados por las empresas. Estas externalidades se presentan porque, si bien una patente o el secreto comercial impiden que otros hagan un uso no autorizado del nuevo conocimiento, esta exclusión es sólo temporal; además, porque existen ciertos aspectos del conocimiento que no son objeto de exclusión (Hounie *et al.*, 1999, p. 12).

Los efectos de dichos derrames se reflejan en rendimientos crecientes en la acumulación del conocimiento tecnológico, en la medida que cada nueva idea se agrega al acervo de conocimientos preexistentes, y en incrementos de la productividad de los factores de producción rivales (capital físico y humano) que compensan la tendencia a la disminución

³⁰ Ello conlleva que la tecnología tiene una capacidad de acumulación ilimitada.

de los rendimientos marginales de los factores acumulables. Tales efectos no sólo tienen lugar contemporáneamente, sino también a través del tiempo (Hounie *et al.*, 1999, p. 13).

Esta concepción de la tecnología permite construir modelos que, a diferencia del de Solow-Swan, endogenizan el progreso técnico y, de esta manera, consienten el crecimiento sostenido del producto *per capita*. En estos modelos se introduce, por una parte, un marco de competencia monopolística que justifica la inversión en I + D³¹ y, por otra, las externalidades ya mencionadas asociadas a la creación de conocimiento tecnológico general. Estos dos aspectos facilitan que el conocimiento tecnológico se disemine extensamente, suscitando con ello el crecimiento sostenido como un resultado endógeno del sistema económico (Hounie *et al.*, 1999, pp. 12-13).

Así, estos modelos plantean que, para que el empresario esté dispuesto a innovar, ha de apropiarse de ingresos derivados del conocimiento tecnológico; para ello, dado que éste es un bien parcialmente excluible, el creador de tecnología –cuando ha innovado– obtiene temporalmente una renta monopólica al impedir que otros utilicen el conocimiento generado mediante una patente o el secreto comercial. Este planteamiento se corresponde ciertamente con la posición del agente innovador enunciada por Schumpeter (1964, pp. 81-82), para quien los beneficios provenientes de la innovación poseen el carácter de ganancia de monopolio.

En términos generales, se han utilizado dos enfoques complementarios para abordar la endogeneización de la tecnología. El primer enfoque considera que el progreso tecnológico consiste en un aumento en el número de productos o bienes de capital disponibles como insumos intermedios. El supuesto fundamental de los modelos que propugnan por esta aproximación es que la cantidad de bienes de capital no presenta rendimientos decrecientes, por lo que la economía es capaz de generar crecimiento sostenido dado que las empresas de I + D siempre desean crear nuevos productos.

³¹ La introducción de este supuesto se corresponde con el hecho de que la generación de ideas (diseños) requiere de un elevado costo fijo inicial en comparación con su costo marginal (esto es, el gasto de I + D es un costo hundido); en consecuencia, los costos medios de I + D son siempre superiores a los costos marginales. Esta situación plantea un problema ya que, en competencia perfecta, el precio es igual al costo marginal, por lo que cualquier empresa competitiva sufriría pérdidas al intentar crear tecnología. De ahí que las innovaciones tiendan a ser realizadas por empresas con poder de mercado (Sala-i-Martin, 2000, p. 171).

Algunos modelos representativos de este punto de vista se hallan en Romer (1990), Grossman y Helpman (1991, ch. 3) y Barro y Sala-i-Martin (2004, ch. 6).

El modelo de Romer (1990) es el pionero del enfoque de expansión de la variedad de productos. Para este autor, el crecimiento económico proviene de la profundización de la división del trabajo que se logra a través de la incorporación del progreso tecnológico. En el modelo aludido, la innovación procede por mejoras incrementales y el cambio tecnológico tiene lugar a través de la diferenciación horizontal de los bienes, es decir, mediante la creación de nuevas variedades de bienes de capital que no son ni mejores ni peores que las existentes³². Esa gama más amplia de bienes de capital permite aumentar la división social del trabajo, habilitando a cada productor de bienes finales para encontrar instrumentos más adecuados en procura de una mayor productividad del capital físico y humano (incluido el trabajo no calificado) (Hounie *et al.*, 1999, p. 11).

Similarmente, Grossman y Helpman (1991, ch. 3) consideran que, en una economía innovadora, el conocimiento (representado por la cantidad de diseños de diferentes bienes) aumenta con el tiempo y, a su vez, incrementa la productividad de los recursos utilizados en los laboratorios de investigación, lo que supone que las actividades investigativas conllevan aprendizaje. En ese sentido, una parte importante del conocimiento que se acumula durante el proceso de I + D puede ser utilizado por otros agentes sin costo.

Estos autores asumen que cada producto nuevo sustituye imperfectamente a los existentes; además, que las empresas poseen tecnología para manufacturar un único producto diferenciado, detentando un poder monopólico. Así, el modelo se basa en una disyuntiva (*trade-off*) en la asignación de una cantidad de recursos dada entre las actividades de I + D y la manufactura de productos de alta tecnología. Como resultado, el progreso tecnológico se puede incrementar asignando más recursos a I + D, en desmedro de la manufactura, hasta que los costos de oportunidad de ambas actividades se igualen, punto en el cual la economía alcanzará tasas de cambio tecnológico y de crecimiento

³² Romer (1990) introduce un supuesto simplificador según el cual los bienes de capital no se deprecian.

positivas y constantes, al igual que una asignación de los recursos entre I + D y manufactura que se mantiene a través del tiempo (Hounie *et al.*, 1999, p. 11).

El segundo enfoque considera que el progreso tecnológico se refleja en gran medida en la mejora de la calidad de los diferentes productos existentes (en número limitado). Se dice que estos modelos, llamados de “escaleras de calidad” (*quality ladders*), tienen como elemento común lo que Schumpeter denominó “destrucción creadora”³³, entendiéndose por este fenómeno el desplazamiento de la demanda que sufre una empresa cuyo producto se ha vuelto obsoleto (destrucción) por parte de otra firma que produce el mismo bien superando a la primera en calidad (creación).

De acuerdo con estos modelos, las empresas invierten en I + D con la expectativa de obtener rentas monopólicas en la medida que las innovaciones puedan ser sujetas de derechos de propiedad intelectual; empero, las innovaciones posteriores aniquilan tales rentas al hacer obsoletos los bienes existentes, razón por la cual las firmas que ya están instaladas invierten en I + D con el fin de mantener su liderazgo tecnológico y, por ende, su poder de monopolio. Así las cosas, el progreso tecnológico se sustenta en la guerra que se entabla entre firmas líderes y seguidoras³⁴. Algunos de los modelos de escaleras de calidad más representativos se encuentran en Aghion y Howitt (1992), Grossman y Helpman (1991, ch. 4) y Barro y Sala-i-Martin (2004, ch. 7).

A diferencia de Romer (1990), para quien el crecimiento procede indirectamente del progreso tecnológico, Aghion y Howitt (1992) plantean que el crecimiento económico proviene directamente de este tipo de progreso, el cual resulta a su vez de la competencia entre firmas inversoras en I + D que producen innovaciones. Cada innovación genera un tipo nuevo de bien intermedio, cuyo uso mejora la eficiencia en la producción de cada uno de los bienes finales y sustituye al bien de capital preexistente (esto se conoce con el nombre de diferenciación vertical de los bienes), dándose un proceso de “destrucción creadora”. En tal sentido, puede decirse que el progreso tecnológico genera ganancias y

³³ Véase nota 8.

³⁴ De acuerdo con Sala-i-Martin (2000, p. 187) y Barro y Sala-i-Martin (2004, ch. 7), esta guerra conduce a un exceso de inversión en I + D y, en consecuencia, a un crecimiento económico exagerado.

pérdidas en la medida que se vuelven obsoletos procesos de fabricación, productos, saberes, mercados y competencias (Hounie *et al.*, 1999, p. 11).

Se observa entonces que Aghion y Howitt (1992) procuran retomar los planteamientos schumpeterianos sobre destrucción creadora al tratar las innovaciones como perturbaciones en los sistemas económicos que se presentan de manera discontinua³⁵ y generan oportunidades de beneficios.

Del análisis de los modelos considerados anteriormente (tanto el de Solow-Swan como los de crecimiento endógeno), se colige que las trayectorias de crecimiento económico resultantes dependen en última instancia de la tasa de progreso tecnológico asociada a la operación de cada sistema económico. Ello, a su vez, lleva a concluir que la forma como se incorpora el cambio tecnológico en dichos modelos guarda un estrecho vínculo con la manera de conceptuarlo.

En ese sentido, cabe anotar que ninguna de las teorías del crecimiento económico consideradas en este acápite se preocupa por estudiar la naturaleza de la innovación y el cambio tecnológico, sino tan sólo por caracterizarlo y examinar su injerencia en el fenómeno del crecimiento económico, en el entendido de que aquél es un elemento integral de éste.

Finalmente, es importante señalar a modo de contexto que estas teorías del cambio tecnológico y el crecimiento económico se corresponden con las visiones que han sustentado las revoluciones científicas y tecnológicas que contemporáneamente a su postulación han estado vigentes. Es así como la noción del progreso tecnológico exógeno al sistema económico se encuadra en una visión en la que la tecnología se concibe como incorporada a los bienes de capital y se manifiesta en modificaciones en los procesos y productos que afectan a determinados sectores de actividad; por el contrario, la concepción del progreso tecnológico como un elemento endógeno al proceso de

³⁵ Considérese que, en el modelo de estos autores, el intervalo de tiempo entre dos innovaciones es una variable aleatoria y la probabilidad de ocurrencia de una innovación es un proceso sujeto a una distribución del tipo Poisson.

crecimiento económico se inserta dentro de la revolución tecnológica basada en la información hoy reinante (para más detalles al respecto, véase Hounie *et al.*, 1999, p. 22).

3. ALGUNOS VÍNCULOS ENTRE EL CAMBIO TECNOLÓGICO, EL CAPITAL Y EL TRABAJO: LA PERSPECTIVA ECONÓMICA

En este acápite se abordan las relaciones entre el cambio tecnológico y los elementos productivos que se han considerado a lo largo del presente trabajo con el propósito de identificar algunos vínculos conceptuales y desde el punto de vista de la historia del pensamiento económico entre el progreso tecnológico, el capital y el trabajo.

3.1. EL CAMBIO TECNOLÓGICO Y EL “AHORRO” DE TRABAJO Y CAPITAL EN SMITH Y MARX

Ciertamente en concordancia con los planteamientos sobre progreso tecnológico harrodiano ya vistos, los economistas clásicos consideraron que los desarrollos técnicos contribuían a “ahorrar” o hacer más productivo el trabajo.

Así, Adam Smith (1776, Libro I, caps. I y XI) observa que la invención de maquinaria es una consecuencia favorable de la división del trabajo toda vez que permite encontrar métodos que facilitan y abrevian la ejecución de las distintas tareas, reduciendo en última instancia la cantidad de trabajo necesaria para la elaboración de los productos.

Más adelante, Marx (1867, Vols. I y III) plantea que la adopción de maquinaria y nuevos métodos de producción desplaza trabajadores de la actividad productiva, no existiendo efectivamente mecanismos de compensación automática frente a esta situación. De esa manera, este autor relaciona el cambio tecnológico y la desocupación al señalar que la introducción de los referidos elementos productivos conduce a un descenso del valor de la fuerza de trabajo (los salarios) en la medida que se conforma un “ejército industrial de reserva” de desempleados.

De este modo, puede decirse que el cambio tecnológico (bajo condiciones capitalistas) posee en Marx un sesgo ahorrador de trabajo que se halla reflejado en la producción de

plusvalía relativa al igual que en el alza de la composición orgánica del capital³⁶ (Vegara, 1989, cap. 2; Kurz y Salvadori, 2004, p. 21).

Sin embargo, lo anterior no implica que este autor no hubiese considerado el cambio tecnológico ahorrador de capital (constante). En efecto, Marx (1867, Vol. III, cap. V) estudia este fenómeno con detalle y destaca al respecto el papel de la aplicación de maquinaria en gran proporción al igual que el de la concentración de los medios de producción y su empleo masivo por parte de los obreros –en otras palabras, lo que contemporáneamente se denomina economías de escala–; similarmente, se ocupó del efecto del perfeccionamiento de las máquinas al igual que del abaratamiento de los gastos en materias primas, aspecto al cual se aludirá más adelante.

3.2. EL CAMBIO TECNOLÓGICO Y EL CAPITAL

Tanto la teoría neoclásica del crecimiento como los modelos de crecimiento endógeno presentan algunas variantes en las que el conocimiento tecnológico es sometido indirectamente a la hipótesis de maleabilidad del capital abordada en el capítulo anterior, lo que se traduce en una precaria preocupación por explicar la esencia de los cambios en la tecnología.

A continuación, se describen someramente dos de estas variantes, a saber, el progreso técnico incorporado en el capital y los modelos lineales de crecimiento endógeno, indicándose la manera como se emplea la noción de capital maleable así como los resultados y discusiones teóricas que se desprenden de dichas variantes en relación con el cambio tecnológico.

3.2.1. La ineficacia de la incorporación

Como se ha visto, el cambio tecnológico (neutral) no incorporado consiste en mejoras de la organización que afectan a todos los factores del mismo modo. Ello implica respecto al

³⁶ Según Marx (1867, Vol. I), el desarrollo tecnológico induce en el capitalismo una reducción del capital variable (fuerza de trabajo) y de su valor (es decir, el de los medios necesarios para reproducir la fuerza de trabajo según unas normas de consumo histórico y social) respecto al capital constante (medios de producción), lo que se traduce en un aumento de la plusvalía relativa y de la composición orgánica del capital.

capital que la introducción de una mejora tecnológica incrementa la capacidad productiva de todos los bienes de capital existentes hasta ese momento, ya sean de reciente creación e incorporen los últimos adelantos en el conocimiento tecnológico o sean “fósiles” heredados del pasado (Harcourt, 1975, pp. 59-60; Branson, 1977, pp. 599-601; Sala-i-Martin, 2000, p. 121).

Por el contrario, se habla de progreso técnico incorporado en el capital cuando éste modifica la forma de los bienes de capital que se emplean en la producción, haciendo más eficiente los bienes nuevos frente a los anteriores³⁷ y, por tanto, influyendo en el abandono de estos últimos en la medida que se hacen obsoletos³⁸. Bajo esta perspectiva, desarrollada por Solow y Nelson³⁹, las funciones de producción con capital incorporado poseen la forma

$$Y(t) = F[J(t), L(t)] \quad (3.5)$$

donde $F(\cdot)$ es homogénea de grado uno en el trabajo y la *arcilla* o *gelatina de capital*, J . Esta última se define como el acervo de capital agregado con cada máquina, ponderado por un factor de progreso tecnológico que refleja su novedad; es decir,

$$J(t) = \sum_{v=0}^t K_{vt} (1 - \lambda_K)^v \quad (3.6)$$

en el que K_{vt} es el acervo de capital de la cosecha v , construido v periodos después de la máquina más vieja en uso (que tiene $v = 0$) que opera en el momento t ; λ_K es una tasa de

³⁷ “Dado un cambio técnico continuo, los servicios del conjunto existente de activos de capital siempre pueden utilizarse para forjar un grupo de activos de capital nuevos, diferentes y mejores. A la larga, este cambio total no entraña costo”. Dewey, Donald. *Teoría Moderna del Capital*. Traducción de Carlos Villegas García. México: Herrero Hermanos Sucesores, septiembre de 1967, p. 38.

³⁸ Considérese aquí que la obsolescencia alude a la inutilidad, en términos económicos, conferida por la incapacidad de los bienes de capital para cubrir sus costos y contribuir a arrojar rendimientos positivos (teniendo en cuenta los precios de los elementos productivos en ese momento), y no a la inutilidad conferida por el uso, como se suele pensar.

³⁹ La hipótesis de progreso tecnológico incorporado fue formulada originalmente por Leif Johansen y W. E. G. Salter. Sin embargo, son Solow y Nelson quienes introducen dicha hipótesis en los modelos de crecimiento económico.

crecimiento constante por periodo que refleja el progreso tecnológico, de tal modo que $(1 + \lambda_K)^v$ convierte cada cosecha K_{vt} en unidades corrientes equivalentes de J .

De acuerdo con este punto de vista, al que también se conoce como *modelos de cosecha*, la inversión bruta es el medio de transmitir el cambio tecnológico, dando lugar no sólo a *más* capital, sino también a capital *más nuevo y eficiente* (para más detalles, véase Harcourt, 1975, pp. 78-83; Solow, 1970, cap. III; Branson, 1977, pp. 602-607)⁴⁰.

Este enfoque tendió a utilizarse con frecuencia en los estudios teóricos y empíricos del crecimiento económico en reemplazo de las premisas de progreso tecnológico no incorporado y maleabilidad del capital en vista de que, como demostraron Solow y Phelps, dicho reemplazo no altera sustancialmente las conclusiones derivadas de la teoría mencionada (Harcourt, 1975, p. 67; Sala-i-Martin, 2000, pp. 121-122). Sin embargo, como ya se ha señalado y por la misma razón, la utilización de dicha aproximación constituye un artificio teórico y de la modelación matemática que preserva implícitamente la noción de capital maleable⁴¹ y tampoco resuelve los problemas relacionados con la explicación de la naturaleza del cambio tecnológico y el crecimiento económico.

3.2.2. Los modelos lineales de la teoría del crecimiento endógeno, o el conocimiento como capital

Se ha señalado que el abandono de alguno de los supuestos de la teoría de Solow-Swan permitiría desarrollar una explicación de los determinantes del crecimiento económico a largo plazo. En ese sentido, se pone de presente la introducción de formas funcionales

⁴⁰ Dado que el cambio tecnológico procede en este caso a una tasa dependiente tanto de la tasa de ampliación de las técnicas de producción como de la tasa a la que tiene lugar la inversión, recibe el nombre de *progreso técnico conjunto* (Heathfield, 1974, p. 41).

⁴¹ Hicks (1967, p. 51) resume la hipótesis de incorporación del progreso tecnológico de la siguiente manera: "Las nuevas máquinas pueden considerarse homogéneas entre sí, pero las máquinas viejas difícilmente pueden considerarse homogéneas, sin más. Pero incluso ésta es una dificultad que puede salvarse, al menos en apariencia. En cualquier caso tenemos que introducir alguna regla según la cual la edad de la máquina afecte a su productividad. Emplear una regla que permita considerar este efecto como una pura función del tiempo, es dar un paso más hacia el supuesto según el cual una máquina, fabricada n periodos antes, debe considerarse equivalente a una fracción (dependiente de n) de una máquina nueva. Tanto la máquina vieja como la nueva quedan reducidas de esta manera a unas cantidades definidas de la misma "sustancia de capital". Hemos vuelto a introducir la homogeneidad del capital ...".

de la producción distintas de la neoclásica, dando lugar a la rama de modelos lineales de la teoría del crecimiento endógeno.

Los modelos lineales asumen que la producción se puede representar mediante una función homogénea de grado uno en la que el conocimiento tecnológico, el capital físico y el capital humano se comportan como factores ordinarios; por lo tanto, estos insumos se agregan en una definición amplia de capital, caracterizándose la producción mediante una función lineal $Y = f(K) = AK$ (Romer, 1994, p. 16; Sala-i-Martin, 2000).

Bajo estas condiciones, se facilita la construcción de modelos de competencia perfecta en los que hay crecimiento sostenido a medida que tiene lugar la acumulación de capital, sin necesidad de suponer que alguna variable aumenta continua y exógenamente. En estos modelos, el crecimiento es endógeno en el sentido que el cambio tecnológico proviene de inversiones que hacen las personas a costa de prescindir de la tecnología como bien no excluible (Sala-i-Martin, 2000); empero, dado que la producción presenta rendimientos constantes a escala y rendimientos constantes del capital, se reevalúa el papel de los rendimientos crecientes a escala y las externalidades al mostrar que estos rasgos son innecesarios para generar crecimiento endógeno (Rebelo, 1991, p. 519).

El modelo de Rebelo (1991) es el pionero de la aproximación al crecimiento endógeno mediante funciones lineales. Este modelo describe una economía en la que existen dos tipos de factores productivos: de un lado, los factores reproducibles (capital físico y humano), que son acumulables, y, de otro lado, los factores no reproducibles (e.g., tierra), que están disponibles en una cantidad constante. En esta subsección se considerará solamente el crecimiento en presencia de los primeros factores, en tanto que el análisis concerniente a los segundos se abordará más adelante.

En aras de la simplicidad, este autor reúne la cantidad de todos los factores reproducibles en un bien de capital K^{42} , el cual puede ser visto como un compuesto de varios tipos de capital físico y humano; así las cosas, la producción se representa a través de una función (homogénea) lineal $Y = AK$ (Rebelo, 1991).

⁴² Para guardar la consistencia expositiva, en este trabajo se representa dicho agregado con una notación diferente de la del autor en cuestión.

Como el mismo Rebelo reconoce, esta representación de la economía implica tomar como punto de partida la noción de capital maleable⁴³ toda vez que los factores reproducibles son acumulables y, en su dimensión de activos reales, sustitutos perfectos (Rebelo, 1991). Así, si se ahorra una fracción constante del producto y se la usa para producir un mayor acervo de capital compuesto, se genera crecimiento endógeno persistente (Romer, 1994, p. 16).

Ahora bien, cuando se introduce el conocimiento tecnológico (desincorporado), éste es considerado una forma de capital que se acumula a través de I + D y otros procesos, por lo que se adjunta al compuesto K y toma parte en la representación señalada y sus implicaciones. Consecuentemente, asimismo, los modelos lineales de crecimiento endógeno no caracterizan explícitamente las actividades de I + D, esto es, ni siquiera se preocupan por examinar la esencia del cambio tecnológico.

Uno de los resultados importantes del modelo de Rebelo (1991) es que, debido a la ausencia de rendimientos decrecientes del capital, la economía crece permanentemente a una tasa constante –independiente del acervo de capital– determinada por factores visibles como la tasa de ahorro, la depreciación, el nivel de la tecnología y el crecimiento poblacional (Sala-i-Martin, 2000, pp. 53-54; Barro y Sala-i-Martin, 2004, pp. 64-65).

Pese a su sencillez, se dice que la rama de modelos lineales constituye la base sobre la que se construye la teoría del crecimiento endógeno, ya que la mayoría de modelos de este tipo contienen algún supuesto que hace que la función de producción relevante tome la forma AK (Sala-i-Martin, 2000, p. 55).

⁴³ “This simple linear economy resembles models discussed in Knight (...) and Hagen (...) in which ‘everything is capital’ in the sense that all factors of production can be accumulated.” Rebelo, Sergio. “Long-Run Policy Analysis and Long-Run Growth.” *Journal of Political Economy*, Vol. 99, No. 3, June 1991, p. 507, footnote 6.

4. RELACIONES ENTRE EL CAMBIO TECNOLÓGICO Y LOS RECURSOS NATURALES Y LA ENERGÍA

La preocupación de los economistas por los nexos entre el progreso tecnológico y los recursos naturales y energéticos se remonta a Jevons (1865), quien señala algunas relaciones entre la disponibilidad de energía y el progreso, entendiendo este último como la disposición de objetos materiales tal que permita sustituir productos y procesos⁴⁴; en ese sentido, postula que las mejoras en las ciencias y las artes tienden a incrementar la preponderancia de la energía (en este caso, del vapor y el carbón).

Con la consolidación de la corriente neoclásica, se arraiga en el pensamiento de los economistas la creencia en que el progreso tecnológico, a través de la generación de nuevas ideas y conocimiento, puede compensar las contingentes limitaciones asociadas a la finitud de recursos naturales necesarios para la producción.

En la presente sección se examinan algunas de las variantes que ha tomado esta creencia, a saber, el progreso tecnológico aumentativo de recursos, la inclusión del conocimiento como parte del capital y la tecnología de contención. Para ello, se consideran las concepciones y los modelos más representativos acerca de las relaciones entre el cambio tecnológico, el crecimiento económico y los recursos naturales, mostrándose que estos poseen varias inconsistencias y contradicciones no sólo desde el punto de vista teórico, sino también desde las realidades biofísicas que atañen al crecimiento económico como proceso de transformación de materia-energía.

4.1. MODELOS DE CRECIMIENTO ECONÓMICO CON RECURSOS NATURALES Y PROGRESO TECNOLÓGICO

A principios de la década del setenta del siglo pasado, el debate sobre las perspectivas de crecimiento económico ganó terreno gracias a la hipótesis planteada en el Informe para el

⁴⁴ "With fuel and fire, then, almost anything is easy. By its aid, in the smelting furnace or the engine, we have effected, for a century past, those successive substitutions of a better for a worse, of a cheaper for a dearer, a new for an old process, which constitute our material civilization." Jevons, W. Stanley. *The Coal Question. An Inquiry concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines*. London and Cambridge: Macmillan, 1865, pp. 100-101.

Club de Roma, según la cual existen límites biofísicos al crecimiento que lo llevarían eventualmente a su colapso; la emergencia del movimiento ambientalista y los incrementos desmesurados en los precios del petróleo.

Estos hechos le exigieron a la economía convencional que diera respuestas mediante la incorporación de los recursos naturales y la contaminación en su marco analítico. Tales respuestas se dieron a conocer luego de la divulgación de *Los Límites del Crecimiento*. En ellas, el marco analítico lo provee la teoría neoclásica del crecimiento y, en concordancia con la preocupación en boga por las restricciones a la expansión económica sostenida que podría imponer la creciente escasez de recursos, se introdujeron inicialmente los recursos no renovables.

En tal sentido, son conocidas las disertaciones de Solow (1974a), Stiglitz (1974) y Dasgupta y Heal (1974), publicadas en un número especial de la revista *Review of Economic Studies*. En estos trabajos se toma la forma típica del modelo de Solow-Swan con cambio tecnológico exógeno en el que se incluye, junto con el capital y el trabajo, un recurso agotable en la función de producción. Con base en ello, se concluye –en palabras de Dasgupta y Heal (1979)– que la existencia de un acervo finito de recursos necesarios para la producción no implica que la economía deba estancarse si existe una tasa positiva constante de progreso tecnológico aumentativo de recursos.

Este tipo de progreso tecnológico permite generar la misma cantidad de producto con relativamente menos recursos naturales debido a que incrementa la eficiencia en el uso de estos al propender por su mayor aprovechamiento y la reducción de desechos por unidad de producción⁴⁵; de esta manera, se regula la eventual desaparición de los recursos, incluso si la elasticidad de sustitución entre capital reproducible y recursos agotables es nula ($\sigma = 0$).

⁴⁵ Al respecto, Marx (1867, Vol. III, cap. 5) señala la gran tendencia de la economía (capitalista) al derroche de recursos materiales; pero, asimismo, indica que tanto el aprovechamiento de los residuos de la producción para transformarlos en nuevos elementos productivos como la reducción al mínimo de dichos residuos en la medida que se emplean al máximo todas las materias primas y auxiliares constituyen formas de ahorro de capital (constante) puesto que abaratan los gastos en materias primas.

En relación con los trabajos mencionados, el recurso a este tratamiento del progreso tecnológico se facilita por la utilización de la función de producción Cobb-Douglas pues, como notaron Stiglitz (1974) y Dasgupta y Heal (1979), el uso de dicha forma funcional no hace posible ni necesario distinguir entre cambio tecnológico aumentativo de trabajo, de capital e, inclusive, de recursos naturales⁴⁶.

Con la publicación de estas disertaciones y los desarrollos teóricos subsecuentes, la ciencia económica amplió gradualmente su punto de vista sobre los vínculos entre el crecimiento y el mundo natural; sin embargo, la generación de nuevo conocimiento e ideas por parte de los humanos llegó *pari passu* a ser el elemento dominante en tal visión.

Para la década de 1990, el reto del cambio climático y el Informe de la Comisión Brundtland –en el que se acuñó el término desarrollo sostenible– llevaron a los economistas a introducir la energía, los recursos naturales y la contaminación en la teoría del crecimiento endógeno. En este marco, a diferencia del anterior, el análisis se centra casi exclusivamente en el aspecto atinente a la polución; asimismo, poco se contempla la existencia de límites al crecimiento económico. Esto se corresponde con el viraje en las preocupaciones hacia la disposición de desechos y la contaminación (Luzzati, 2004, p. 330).

Pese a las observaciones anteriores, en el presente trabajo solamente se analizan las representaciones del crecimiento endógeno en las que se considera la función natural de provisión de recursos y, en particular, algunas de las investigaciones más recientes, como son las de Aghion y Howitt (1998, ch. 5) y Smulders (1999). Estos escritos contienen varios modelos arquetípicos usados por la nueva teoría del crecimiento para tener en cuenta la naturaleza.

Aghion y Howitt (1998, ch. 5) reconocen que los recursos naturales son un asunto que vale la pena considerar. Basados en esta consideración, dichos autores desarrollan dos modelos de crecimiento endógeno enmarcados en las representaciones AK y

⁴⁶ Esta propiedad obedece a que, tal como se demuestra en el Anexo 2, la función Cobb-Douglas es la única simultáneamente homogénea de grado uno y con elasticidad de sustitución unitaria.

schumpeteriana, respectivamente, en los que introducen un recurso no renovable en la función de producción. A continuación, se analizan los resultados generales de estos.

Sobre la representación lineal, cabe subrayar a manera de contexto que el modelo fundador AK, valga decir, el de Rebelo (1991), indica que lo único que se requiere para que el crecimiento endógeno sostenido sea viable es la existencia de una “base” de bienes de capital producida bajo rendimientos constantes a escala y sin la contribución directa o indirecta de factores no reproducibles.

Al respecto, recuérdese que ya Solow (1956) había señalado que el atributo de rendimientos constantes a escala “... equivale a suponer que no hay ningún recurso escaso no aumentable, como la tierra”, de modo que la exclusión de los factores no reproducibles (en la teoría neoclásica del crecimiento) simplemente corrobora las implicaciones de la caracterización de la producción adoptada⁴⁷.

Estas afirmaciones son ratificadas por Aghion y Howitt (1998, ch. 5) en su aproximación AK, la cual conlleva que no es posible el crecimiento sostenido en presencia de recursos no renovables porque estos dan lugar a rendimientos decrecientes del capital. No sobra resaltar que este resultado constituye una contradicción habida cuenta de que el modelo en cuestión parte del supuesto de rendimientos constantes a escala.

En contraste, la aproximación schumpeteriana desarrollada por estos autores conlleva crecimiento sostenido, al menos bajo ciertas circunstancias. Esta conclusión radica en la distinción que Aghion y Howitt (1998, ch. 5) efectúan entre dos tipos de capital, a saber, capital tangible y capital intelectual, así como en la caracterización de la acumulación del último como menos intensiva en recursos en comparación con la acumulación del primero. Así las cosas, la acumulación de “capital intelectual” puede compensar los

⁴⁷ Similarmente, Rebelo (1991) expone que si la producción de bienes de capital requiere factores no reproducibles, haciendo estos viable el crecimiento sostenido, la producción debe exhibir rendimientos crecientes a escala.

De acuerdo con Dasgupta y Heal (1979, p. 197), tal consideración se basa en que el tipo de rendimientos mencionado puede presumiblemente compensar las limitaciones impuestas por los recursos naturales.

rendimientos constantes a escala e influir en las restricciones biofísicas sobre la actividad económica⁴⁸ (England, 2000, p. 426).

Cabe señalar que las dos representaciones referidas adoptan de manera explícita o implícita la hipótesis de maleabilidad del capital ya que, de un lado, el carácter lineal del modelo AK presupone, como ya se ha indicado, la noción de capital maleable, y, de otro lado, al especificar la existencia de rendimientos constantes a escala en la producción tanto de capital como de producto, el modelo schumpeteriano despliega tácitamente la hipótesis mencionada (véase Aghion y Howitt, 1998, ch. 5).

Por su parte, Smulders (1999) desarrolla un modelo en el que introduce tres factores en la función de producción: calidad ambiental, uso de servicios del medio ambiente y acervo de conocimiento hecho por el hombre (que incluye el capital). Todos estos aspectos se asumen esenciales. Asimismo, este autor supone que la producción exhibe rendimientos constantes con respecto al insumo de conocimiento hecho por el hombre, dejando los otros factores fijos.

En virtud de esta última suposición, la función de producción no satisface las condiciones de Inada, de modo que en el largo plazo no hay rendimientos decrecientes del capital hecho por el hombre (definido en un sentido amplio para incluir la generación de conocimiento)⁴⁹ y, por lo tanto, es viable el crecimiento sostenido a la par con un medio ambiente que no se degrada. Luego, la creación de nuevo conocimiento estimula un crecimiento económico que no depende de la creciente extracción de recursos naturales (Smulders, 1999).

⁴⁸ "the marginal social product of capital ... does not decline when output and tangible capital grow at the same rate in a steady state, provided that intellectual capital grows sufficiently faster than tangible capital, fast enough to offset the inevitable decline in the use of the natural resource." Aghion, Philippe and Howitt, Peter. *Endogenous Growth Theory*. Cambridge: The MIT Press, 1998, p. 164.

⁴⁹ El conocimiento es el insumo reproducible y puede consistir en una fórmula o estar incorporado en varias formas de capital construido por el hombre (capital físico, capital humano, bienes de infraestructura y capital orientado a la reducción del deterioro de la calidad ambiental). Por el contrario, los factores relacionados con el entorno natural no son reproducibles y, en tanto que se dejan fijos, conforman el producto marginal del insumo reproducible. Consecuentemente, dicho producto no se aproxima a infinito cuando el conocimiento tiende a ser nulo y no se aproxima a cero cuando el conocimiento tiende a ser indefinido (Smulders, 1999; Sala-i-Martin, 2000, p. 52). (Sobre las condiciones de Inada, refiérase al Anexo 3.)

Estos resultados son, guardadas las particularidades, semejantes a los de los modelos lineales à la Rebelo y los de crecimiento endógeno con recursos de Aghion y Howitt (véase Smulders, 1999; Luzzati, 2004, pp. 335-336). No obstante, la asunción simultánea de esencialidad de los factores y de rendimientos constantes a escala del insumo reproducible es contradictoria pues, como se ha demostrado en el capítulo anterior, los atributos de la función de producción neoclásica (uno de los cuales son las condiciones de Inada) implican –desde el punto de vista matemático, que no biofísico– que todos los factores son esenciales; en consecuencia, la violación de uno de tales atributos conlleva que se incumpla el supuesto de que el producto es nulo en ausencia de calidad ambiental y/o del flujo de servicios ambientales.

Similarmente, ambos trabajos sustentan el crecimiento económico en la generación de nuevas ideas, en el entendido de que éstas pueden vencer las limitaciones biofísicas inherentes a las actividades económicas; de este modo, concluyen que el conocimiento humano puede provocar crecimiento sostenido independiente del entorno natural y de los efectos que sobre éste pueda tener aquél.

4.2. EL SISTEMA DE PRECIOS, EL CAMBIO TECNOLÓGICO Y LA ESENCIALIDAD DE LOS RECURSOS Y LA ENERGÍA

Algunos científicos, y en particular los físicos, consideran que las teorías del crecimiento económico, con pocas excepciones, no le dan suficiente atención al papel de los recursos naturales. Frente a esta posición, los economistas arguyen que los modelos físicos no pueden describir dicho papel debido a que no toman en cuenta la eficacia del cambio tecnológico, estimulado por el mecanismo de precios, para vencer cualquier problema relacionado con recursos (Cleveland, 1987).

En la subsección anterior se expusieron los modelos de crecimiento económico con recursos naturales más representativos, mostrándose que, según estos, el conocimiento tecnológico puede generar crecimiento en ausencia de recursos. En el presente apartado se abordarán algunas concepciones esbozadas por teóricos de la economía en lo que concierne a los nexos entre el cambio tecnológico y el sistema de precios, así como su validación empírica a través de diferentes estudios y la consideración de las leyes físicas.

De acuerdo con Hicks (1973, pp. 105-106), es necesario distinguir entre dos tipos de innovaciones⁵⁰. Así, los cambios en los precios relativos de los factores dan lugar a innovaciones *inducidas*, las cuales se orientan a reducir el uso del factor cuyo precio es comparativamente más alto. A las otras innovaciones este autor las denomina *autónomas*.

Teniendo en cuenta esta distinción, pudiera decirse que las innovaciones inducidas constituyen una forma de cambio tecnológico endógeno en tanto que permiten adaptar los métodos productivos a las condiciones económicas impuestas por las variaciones de los precios.

En relación con los recursos naturales y la energía, el concepto de innovaciones inducidas es de gran significación por cuanto un incremento en los precios de los recursos energéticos tiende a acelerar la invención de tecnologías ahorradoras de energía y, al contrario, precios decrecientes de los energéticos pueden desembocar en desarrollos tecnológicos que usan más intensamente la energía (Stern, 2004, p. 11). Esta aseveración es ciertamente corroborada por las crisis de los precios del petróleo en la década del setenta del siglo pasado.

Asimismo, este concepto sustenta la esperanza de que el cambio tecnológico siempre permita encontrar una “cura” para cualquier situación de escasez de recursos que se manifieste en el mercado vía el mecanismo de precios. Ésta es la posición esgrimida en el estudio *Escasez y Crecimiento*, realizado por Barnett y Morse en 1963, que muestra que los precios de los minerales y recursos agrícolas disminuyeron o permanecieron constantes en el periodo 1870-1957 gracias a la creación de tecnologías que generan sustitutos para recursos escasos y aminoran el costo de extracción de los minerales, expandiendo de este modo el tamaño de las reservas económicas (Tahvonen, 2000, p. 2).

Tal postura es corroborada por Brown y Wolk (2000) quienes, basados en precios reales de minerales metálicos y combustibles fósiles, pretenden demostrar que el progreso

⁵⁰ Cabe resaltar que el concepto de innovación que emplea este autor se refiere a lo que en este trabajo se ha denominado progreso tecnológico y, por tanto, difiere sustancialmente del concepto schumpeteriano.

tecnológico conducido por las fuerzas del mercado ha incrementado la disponibilidad de recursos naturales agotables. De acuerdo con estos autores, la escasez geofísica, al dar lugar a expectativas de precios más altos de los recursos no renovables, estimula el desarrollo de nuevas tecnologías ahorradoras de recursos y/o reductoras de costos; de esta manera, el mecanismo de precios, al crear señales sobre la escasez económica de los recursos, contribuye a contrarrestar la escasez geofísica de los mismos.

Estas argumentaciones desconocen que mucho de lo que es llamado progreso tecnológico ha tenido lugar mediante la utilización por el hombre de cantidades crecientes de formas de energía con el propósito de llevar a cabo actividades específicas de transformación material. Tal utilización de energéticos se remonta a las sociedades primitivas y ha permitido configurar a lo largo de la historia diversas estructuras socioeconómicas y culturales conforme la creatividad humana ha dado paso a nuevos modos de conversión de energía así como a nuevas fuentes⁵¹.

En particular, el advenimiento de la Revolución Industrial abrió paso a la utilización creciente de combustibles fósiles, comenzando con el carbón⁵² en la medida que los múltiples usos de la máquina de vapor condujeron al abaratamiento de ese recurso energético y a economías de escala que sustentaron el desarrollo de la manufactura, el crecimiento de la demanda de productos y, por ende, un aumento en el consumo de todo tipo de materiales; más adelante, el descubrimiento del petróleo estimuló el desarrollo de maquinarias (e.g., motores a gasolina, de combustión interna y Diesel) e industrias que constituyen el complejo productivo hoy dominante⁵³.

⁵¹ Las siguientes consideraciones enfatizan en la utilización de recursos energéticos acumulables a una escala de tiempo geológica y, por ende, agotables desde el punto de vista del horizonte de explotación y uso humano. Para más detalles sobre las relaciones entre los sistemas energéticos y las estructuras socioeconómicas y culturales, así como su manifestación bajo el influjo del aprovechamiento de flujos solares acumulables en una escala de tiempo biológica y de la energía eléctrica, remítase a Kümmel (2001, pp. 411-413), Gómez G. (2002, cap. IX), IDEE (1994, cap. I) y Manrique Díaz y Granda Carvajal (2004, pp. 4-12).

⁵² La "crisis energética" provocada por la escasez de leña –debida a la deforestación– en la alta Edad Media impulsa la transformación y utilización del carbón, un combustible alternativo mucho más eficiente pero considerado durante largo tiempo con desdén. Inicialmente, el carbón sólo se usaba para generar calor en forma directa y en la metalurgia del hierro; pero, posteriormente, éste desempeña un papel fundamental en el salto tecnológico a que da lugar el desarrollo de la máquina de vapor de Watt y la coquización durante el siglo XVIII.

⁵³ Para una explicación más precisa de este proceso, refiérase a los mecanismos de retroalimentación energía-crecimiento y "ciclo de Salter" propuestos por Ayres (2001) y Ayres y van den Bergh (2005).

Más aún, se puede decir que en la actualidad los efectos del cambio tecnológico son ambiguos por cuanto la tendencia hacia el desarrollo de tecnologías que fomentan la eficiencia, la desmaterialización y la reducción de los impactos ambientales ha incidido en una menor utilización de recursos naturales y/o emisión de contaminantes por unidad de producto; pero, asimismo, el crecimiento poblacional y de la producción al igual que los cambios en la estructura socioeconómica asociados a la globalización (expansión urbana, del comercio internacional y del consumo de bienes, entre otros) han conducido a la larga a una mayor utilización de aquellos y/o a una mayor polución en términos totales (para una reflexión al respecto con énfasis en tecnologías de transformación energética, véase Cherni, 2002).

En relación con los recursos energéticos, esta situación se corresponde con el postulado de Khazzoom-Brookes o “efecto rebote”, que consiste en que el cambio tecnológico aumentativo de energía puede dar lugar a un mayor consumo de combustibles toda vez que dicho cambio es percibido como una reducción del precio de los servicios de estos, generando un incremento en la demanda de dichos servicios al igual que un efecto ingreso que se traduce en un aumento de la demanda por todos los bienes de la economía y, en última instancia, por energía ya que tales bienes requieren de ésta para su producción; consiguientemente, los intentos por lograr conservación a través de mayor eficiencia energética se ven menoscabados (Stern, 2004, p. 12; Ayres y Warr, 2003, p. 14, footnote 11; Cleveland, 2003; Saunders, 1992; Ayres y Warr, 2004, pp. 9-10, footnote 10).

Todas estas consideraciones indican que no existe una relación unidireccional entre la operación del mecanismo de precios y el cambio tecnológico; más bien, parece presentarse un conjunto de fenómenos complejos cuyas implicaciones involucran tanto a la economía como al mundo físico. En consecuencia, algunas de las hipótesis y creencias que se han planteado en torno a los nexos entre el sistema de precios y la tecnología yacen en el plano de la teoría y están sujetas a confrontación con la realidad.

En otro orden de ideas, la teoría neoclásica supone que la sustitución y el progreso tecnológico son fenómenos distintos y analíticamente separados, aunque pueden ocurrir

simultáneamente⁵⁴. En tal sentido, se dice que la sustitución entre factores tiene lugar dentro de métodos de producción conocidos y no implica la introducción de nuevas tecnologías o innovaciones.

No obstante, la distinción entre sustitución y progreso tecnológico resulta extremadamente complicada en la práctica ya que a menudo no se sabe si una técnica conocida está disponible pero no se utiliza o si simplemente es desconocida (Mokyr, 1993, p. 350). De esto se deriva la dificultad de diferenciar entre sustitución pura entre factores productivos dadas las tecnologías existentes y cambio tecnológico inducido por variaciones en los precios relativos de los diversos insumos (Victor, 1991, p. 199).

Lo anterior pone de presente que, pese a la suposición neoclásica, el cambio tecnológico no es diferente de la sustitución. A decir verdad, el desarrollo de tecnologías de producción nuevas y más eficientes comporta una sustitución de factores productivos por conocimiento incorporado en bienes de capital mejorados y trabajadores más hábiles (Stern, 2004, p. 10)⁵⁵.

En los capítulos anteriores se ha planteado que la existencia de factores esenciales depende de las posibilidades de sustitución que se asume existen entre los elementos productivos. Atendiendo a estas consideraciones, podría decirse entonces que la cuestión de la esencialidad estriba también en el cambio tecnológico en la medida que éste apunte a la sustitución, mediante el descubrimiento o desarrollo de sustitutos que hagan no esenciales recursos que así han sido (Para una apreciación de la perspectiva neoclásica al respecto, véase Dasgupta y Heal, 1974).

Al respecto, algunos economistas neoclásicos convierten la esperanza inherente a su noción de progreso tecnológico ilimitado y omnipotente en postulado teórico al plantear la posibilidad de que, en último extremo, aparezca una invención o un recurso renovable que

⁵⁴ Esto lleva a enfatizar en las diferencias entre las posibilidades de sustitución de un factor productivo por otro a lo largo de una isocuanta y las posibilidades de sustitución entre varias técnicas de producción (cada una con sus requerimientos individuales de insumos).

⁵⁵ "Por lo tanto, en parte, la sustitución tiene lugar por un cambio en las proporciones en las que los recursos productivos se distribuyen entre los tipos existentes de producción. Pero, en parte, se producen al ofrecer un estímulo para la invención de nuevos tipos". Hicks, J. R. *La teoría de los salarios*. Traducción de Alejandro Pedrós Abelló. Barcelona: Labor, 1973, p. 103.

salve a la humanidad de la catástrofe que entraña el deterioro y ulterior agotamiento de los recursos no renovables, o que por lo menos posponga dicha catástrofe durante un lapso indeterminado de tiempo^{56, 57}.

Dicha tecnología, a la que W. D. Nordhaus dio el nombre de tecnología de contención (*backstop*), comporta la particularidad de que podría sustituir perfectamente los recursos agotables en el futuro de manera de satisfacer los requerimientos mínimos de materia y energía, dependiendo de si la cantidad de recursos demandada al costo de tal tecnología es suficiente para cumplir los requerimientos mencionados (Bretschger, 2005, p. 158).

Sin embargo, este planteamiento no toma en cuenta que el mero conocimiento no puede crear la energía y la materia cuyos requerimientos pretende suplir. De hecho, el cambio tecnológico necesita estos elementos para concretarse. Consecuentemente, la tecnología de contención, al estar regida por las leyes de la termodinámica, es un imposible desde el punto de vista físico (Sollner, 1999).

Así las cosas, la sustitución de recursos naturales por conocimiento posee límites, lo que muestra que la concepción de ideas por los humanos no puede superar las restricciones físicas inmanentes a las actividades económicas, de modo que los recursos constituyen un elemento fundamental de la producción.

SÍNTESIS Y CONCLUSIONES

De acuerdo con el enfoque económico convencional, el *conocimiento tecnológico* le permite a las firmas combinar factores productivos con miras a la elaboración de bienes y servicios que satisfacen una demanda solvente, de lo que se deriva que el cambio

⁵⁶ "The favorite thesis of standard and Marxist economists alike, ... is that the power of technology is without limits (...). We will always be able not only to find a substitute for a resource which has become scarce, but also to increase the productivity of any kind of energy and material. Should we run out of some resources, we will always think up something, just as we have continuously done since the time of Pericles (...). Nothing, therefore, could ever stand in the way of an increasingly happier existence of the human species." Georgescu-Roegen, Nicholas. "Selections from 'Energy and Economic Myths'." *Southern Economic Journal*, Vol. 41, No. 3, January 1975.

⁵⁷ La enunciación de tal posibilidad se remonta a Jevons (1865, p. 143), quien señala que, ante el agotamiento de los recursos energéticos –en particular, del carbón–, con el consiguiente aumento de precios, se puede encontrar en los recursos renovables (e.g., el viento, el agua y las mareas) un sustituto rentable. Más adelante, Dasgupta y Heal (1974) dan por sentada la plausibilidad de descubrir un sustituto sintético.

tecnológico forja métodos de producción nuevos para mercancías efectivamente deseadas.

El reconocimiento de este hecho ha llevado a los economistas a concebir un factor productivo nuevo, el cual fue denominado cambio o progreso tecnológico (A). En concordancia, la función de producción original –(2.1) en el capítulo 2– fue convertida en la forma estándar usada en la teoría contemporánea del crecimiento económico

$$Y(t) = F[K(t), L(t), A(t)] \quad (3.7)$$

(Binswanger, 1998, p. 5).

Esta teoría tuvo sus inicios a mediados de la década del cincuenta del siglo pasado con el modelo de Solow. Este modelo toma como puntos de partida la función de producción neoclásica y la existencia de mercados perfectamente competitivos; asimismo, de él se derivan varias conclusiones importantes. Una de ellas es que la contribución de la inversión al crecimiento cesa paulatinamente debido a los rendimientos decrecientes del capital hecho por el hombre. De esta consecuencia se sigue que la *única* fuente de crecimiento económico es el progreso tecnológico.

Dado que –en virtud de las hipótesis de partida– el producto agregado es homogéneo de grado uno en los insumos rivales y las firmas son precio-aceptantes, el teorema de Euler garantiza que la remuneración de los factores rivales iguala exactamente el valor de la producción; así las cosas, no quedan recursos para retribuir los desarrollos o descubrimientos que conduzcan a incrementos en A . Por esta razón, el cambio tecnológico es tratado en el modelo de Solow-Swan como un elemento exógeno al sistema económico (Romer, 1994, p. 12; Sala-i-Martin, 2000, pp. 42-43, 167).

No obstante, la aceleración del cambio técnico en las últimas décadas así como la capacidad de difusión de las tecnologías de la información en una gama cada vez más amplia de bienes y servicios han configurado un marco en el que el factor tecnológico difícilmente podría seguirse concibiendo como exógeno. Esto ha sentado las bases para

una modificación sustancial en la forma de entender el progreso de la tecnología y, en consecuencia, en la teoría del crecimiento económico (Hounie *et al.*, 1999, p. 22).

Es así como emergen a mediados de la década del ochenta las nuevas teorías del crecimiento, o modelos de crecimiento endógeno. En estas teorías el cambio tecnológico es un aspecto endógeno al proceso de crecimiento toda vez que se concibe que aquel resulta de decisiones explícitas y conscientes de inversión en investigación y desarrollo de tecnologías, las cuales responden a incentivos de mercado y se relacionan principalmente con la introducción de nuevos bienes intermedios o finales (Hounie *et al.*, 1999).

Luego, para las nuevas teorías del crecimiento el progreso tecnológico tiene lugar mediante innovaciones hechas intencionalmente por las empresas, que invierten recursos en I + D con el fin de obtener beneficios extraordinarios. Consecuentemente, el crecimiento económico no es fruto de fuerzas que lo empujan desde afuera, sino un resultado endógeno de la marcha de las actividades económicas (Romer, 1994).

A diferencia del modelo neoclásico, los modelos de crecimiento endógeno parten de las hipótesis de competencia imperfecta y la utilización de funciones de producción no neoclásicas, entre otras. Gracias a estas hipótesis, dichas teorías entienden la tecnología como un bien público no puro, esto es, no rival y parcialmente excluible; de suerte que, de un lado, la posibilidad de exclusión del conocimiento permite que las empresas se apropien de los ingresos adicionales asociados a la difusión de la innovación y, de otro lado, la no rivalidad del conocimiento tecnológico le confiere rendimientos crecientes a la generación de ideas y compensa la tendencia a los rendimientos decrecientes de los factores acumulables⁵⁸ (Hounie *et al.*, 1999).

Con todo, tanto el modelo de Solow-Swan como los modelos de crecimiento endógeno tienen en común que son teorías de crecimiento en equilibrio que, en su conjunto, acogen los supuestos de rendimientos constantes a escala en la producción y comportamiento

⁵⁸ De acuerdo con Romer (1994, p. 13), el modelo de Solow trata la tecnología como un bien público puro, lo que permite compatibilizar el hecho de que el conocimiento sea no rival con la simplicidad de la competencia perfecta a la vez que hace patente la inconsistencia entre el carácter no excluible del conocimiento con la evidencia de que los individuos y las firmas obtienen ganancias de sus descubrimientos.

racional de los agentes económicos⁵⁹ (Ayres, 2001, p. 820; Ayres y van den Bergh, 2005, pp. 97, 98). En tal sentido, estas teorías difieren sustancialmente de la teoría del desenvolvimiento económico planteada por Schumpeter, que considera este fenómeno como un cambio espontáneo en la corriente circular –esto es, la vida económica– que desplaza el estado de equilibrio existente con anterioridad (Schumpeter, 1957, p. 75)⁶⁰.

En particular, la definición schumpeteriana de innovación discrepa fundamentalmente de la concepción económica de progreso tecnológico pues, mientras que para el austríaco la innovación consiste en alteraciones que irrumpen de modo irregular en el equilibrio competitivo estático asociado a la corriente circular al introducirse en el mercado (Schumpeter, 1957, cap. 2), los economistas convencionales entienden que el cambio tecnológico –ya sea exógeno o endógeno– no da lugar a discontinuidades en el equilibrio general de libre competencia de la economía⁶¹.

A pesar de lo anterior, es importante resaltar que ninguna de las teorías mencionadas se ocupa de dilucidar la esencia de la innovación y el cambio tecnológico, sino tan sólo por caracterizarlo y estudiar su influencia en la evolución de la economía, en el entendido de que aquél es un componente fundamental de ésta⁶². En efecto, es frecuente que algunas de estas teorías contemplen el progreso tecnológico como si hubiese caído del cielo cual maná (Binswanger, 1998, p. 6).

Al respecto, cabe señalar que la teoría neoclásica asume que el cambio tecnológico procede indefinidamente; por su parte, las nuevas teorías del crecimiento tratan el conocimiento como un tipo de capital que aumenta casi automáticamente, justificando de

⁵⁹ El asunto es que las deducciones de la teoría neoclásica, particularmente en lo que tiene que ver con la caracterización del progreso tecnológico (exógeno, sin costo, incremental y automático), son inconsistentes con la realidad observable; de ahí que las nuevas teorías del crecimiento sean esencialmente una modificación del modelo de Solow que intenta remediar los defectos de éste, mediante la endogenización del cambio tecnológico, sin renunciar a la elaboración de modelos de crecimiento en equilibrio.

⁶⁰ Al respecto, cabe notar que Schumpeter subrayó la inestabilidad intrínseca del proceso de crecimiento capitalista, en contraste con el equilibrio económico general y la continua sustitución y adaptación que defiende la teoría económica neoclásica.

⁶¹ Sin embargo, las nuevas teorías del crecimiento retoman ciertamente los planteamientos de Schumpeter (1964, 1979, 1996) sobre la innovación, especialmente en el capitalismo monopolizado, toda vez que algunos modelos señalan que la innovación tiene lugar en los departamentos científicos y de producción experimental de las empresas existentes, las cuales están motivadas por la obtención de ganancias monopólicas, y lleva asociado un proceso de “destrucción creadora”.

⁶² Este hecho es aún más evidente en los modelos lineales de crecimiento endógeno, los cuales ni siquiera especifican las actividades de I + D.

esta manera la presunción de que el crecimiento económico tiene lugar “como si” el progreso de la tecnología fuese exógeno así como la no necesidad de la premisa neoclásica de rendimientos decrecientes del capital toda vez que el conocimiento tecnológico –a diferencia del capital físico– no se deprecia y, por el contrario, puede acelerar la generación de conocimiento adicional (Ayres, 2001, p. 820)⁶³.

En virtud de esta posición radicalmente optimista acerca del progreso tecnológico, en parte, la economía ha prestado poca atención a la importancia de los recursos en la producción y a las restricciones que las leyes naturales imponen sobre la expansión sostenida de las actividades económicas. Ello se manifiesta en las distintas teorías contemporáneas del crecimiento con motivaciones ecológicas, de las cuales se examinaron en este capítulo las más representativas y que tienen en cuenta la función natural de provisión de recursos.

Así, a principios de la década del setenta del siglo pasado, las preocupaciones por la escasez de recursos evidentes en *Los límites del crecimiento* obligaron a los economistas a abordar las restricciones aludidas. El asunto fue concebido inicialmente como un problema de crecimiento económico con recursos agotables, por lo que el marco analítico –en concordancia con los desarrollos teóricos vigentes– fue el modelo neoclásico de Solow (Luzzati, 2004, pp. 330-331).

En este modelo, se propende por la utilización de la función de producción Cobb-Douglas, la cual tiene la propiedad de hacer innecesaria la distinción entre cambio tecnológico aumentativo de trabajo, de capital e, incluso, de recursos naturales. Esto implica que los efectos sobre la economía de las mejoras en la eficiencia de cualquiera de los elementos productivos son indiferentes. De ahí que se concluya que la existencia de un acervo finito de recursos no conlleva un eventual colapso económico si existe una tasa positiva

⁶³ No se considerará en estas conclusiones el impacto del progreso tecnológico sobre el capital mediante el incremento de su eficiencia. Ello obedece en parte a que el tratamiento más cercano de la relación entre el capital y el cambio tecnológico exógeno, valga decir, el progreso técnico incorporado en el capital, tiene como fin evitar medir el acervo de capital agregado, y no dar cuenta de los nexos entre estos dos aspectos de la producción y el crecimiento económico. Lo anterior no obsta para resaltar la necesidad de especificar de manera comprehensiva los vínculos mencionados.

constante de progreso tecnológico aumentativo de recursos (Dasgupta y Heal, 1979; Stiglitz, 1974).

Pese a ello, este modelo y los desarrollos teóricos subsecuentes contribuyeron a ampliar gradualmente la perspectiva de la economía acerca de las relaciones entre el crecimiento económico y el entorno natural. Es así como las nuevas teorías del crecimiento se aproximan al asunto a partir de la década del noventa, evitando realizar representaciones simplistas de los vínculos entre las actividades económicas y el medio ambiente. Sin embargo, las condiciones que de estas teorías se infieren para el crecimiento ilimitado están construidas ciertamente sobre intentos de romper dichos vínculos, es decir, sobre intentos de desligar la economía de su sustento material y energético (Luzzati, 2004).

De esta manera, en el modelo de Rebelo (1991) el crecimiento es endógeno y sostenido –a pesar de la ausencia de rendimientos crecientes a escala– porque existe una “base” de bienes de capital que es producida bajo rendimientos constantes y sin la contribución directa o indirecta de factores no reproducibles, como la tierra⁶⁴.

Por su parte, la aproximación AK de Aghion y Howitt (1998, ch. 5) evidencia algunas inconsistencias que denotan que los recursos agotables deberían ser excluidos en aras de conservar la consistencia formal, no porque realmente sean irrelevantes para dar cuenta del crecimiento económico. Este argumento se ve reforzado por la no distinción –hecha explícita por los autores– entre conocimiento tecnológico y acumulación de capital, razón por la cual esta representación del crecimiento endógeno no puede capturar el papel de la innovación en la sostenibilidad del crecimiento.

Puede decirse entonces que todas estas teorías concluyen que el conocimiento humano puede dar lugar a crecimiento económico sostenido independiente del entorno natural. En la disertación neoclásica, el progreso tecnológico compensa el agotamiento de los

⁶⁴ En particular, Rebelo (1991) parte del supuesto de que sólo se requieren insumos reproducibles para producir bienes de capital, en tanto que la producción de bienes de consumo se representa mediante una función Cobb-Douglas con factores reproducibles y no reproducibles. Luego, al ignorar los elementos no reproducibles en el sector de bienes de capital y asumir perfecta sustituibilidad entre insumos reproducibles y no reproducibles en el de bienes de consumo –una consecuencia derivada de la utilización de la forma funcional mencionada con dos insumos–, este modelo no toma en cuenta en absoluto que para producir se requieren factores no reproducibles (*i.e.*, tierra y recursos agotables).

recursos y constituye la fuente del crecimiento, en tanto que en los modelos que se enmarcan en la teoría del crecimiento endógeno la creación de nuevas ideas subsana los rendimientos constantes a escala y conduce a una expansión económica que no es restringida por la naturaleza. Así las cosas, estos enfoques del crecimiento se sustentan en el convencimiento de que la inteligencia humana puede vencer las limitaciones biofísicas inherentes a las actividades de producción y consumo⁶⁵.

La teoría económica de los recursos naturales se ha desarrollado con base en una premisa fundamental, a saber, que la escasez de recursos naturales no puede ser un problema serio a largo plazo dado que el cambio tecnológico responde a ello extendiendo la vida de estos (por ejemplo, mediante el reciclaje), incrementando la eficiencia de su uso (al reducir el desecho por unidad de producción), localizando nuevos depósitos y descubriendo o desarrollando sustitutos con precios comparables (Smith, 1980, citado en Cleveland, 1987, p. 65; Pearce, 1985; Dasgupta, 1993).

En este capítulo se ha mostrado específicamente que, contrario a la distinción neoclásica entre sustitución y cambio tecnológico, el desarrollo de técnicas de producción nuevas y más eficientes facilita la sustitución al ser él mismo una sustitución de factores productivos por conocimiento incorporado en bienes de capital mejorados y trabajadores más habilidosos (Stern, 2004, p. 10)⁶⁶. Es por esta razón que, de acuerdo con Georgescu-Roegen (1975), Solow convierte a la sustitución en el soporte principal de la tesis según la cual el progreso tecnológico remedia el agotamiento creciente de recursos naturales.

Sin embargo, este argumento no toma en cuenta que la sustitución de factores productivos por conocimiento presenta límites claros puesto que la generación y mantenimiento de maquinaria y trabajadores, sin importar el grado de sofisticación y

⁶⁵ En palabras de Smulders (1999, p. 610), "environmental and natural resource constraints did not turn the historical growth process into stagnation. Instead, accumulation of human knowledge (...) allowed the economy to expand within the fixed physical system of the earth. While no energy or material can be created by man, he continually creates new knowledge to derive more value from a given amount of physical resources. The new knowledge is embodied in new skills (human capital), tools, structures and public infrastructure (physical capital), as well as in institutions and norms (social capital)."

⁶⁶ "... in reality, the shifts along the production function might not be independent from changes in the form of the production function being the consequence of technological change." Bretschger, Lucas. "Economics of technological change and the natural environment: How effective are innovations as a remedy for resource scarcity?" *Ecological Economics*, Vol. 54, Nos. 2-3, August 2005, p. 159.

habilidad que tengan incorporados, requieren de energía, materiales y servicios ecosistémicos (Stern, 2004; Cleveland, 2003); luego, el cambio tecnológico no ocurre en el vacío y, por ende, obedece las mismas restricciones termodinámicas que la sustitución (Sollner, 1999).

En este mismo sentido, se ha indicado que, a lo largo de la historia, el progreso tecnológico ha sido alimentado por el descubrimiento y utilización creciente de formas de energía. En particular, los energéticos fósiles han impulsado en los últimos dos siglos el desarrollo y uso de máquinas –de vapor y de combustión interna, motores eléctricos– y sustancias químicas –fertilizantes y pesticidas– que reemplazan o potencian el trabajo animal y humano⁶⁷ (Ayres, 2001; Cleveland *et al.*, 1984; Gómez G., 2002, cap. IX; Hall *et al.*, 2001; Kümmel, 2001; Ayres y van den Bergh, 2005).

De este modo, puede decirse que el cambio tecnológico no es algo forjado sólo por la mente humana, sino que también es determinado en parte por los atributos físicos de las energías disponibles en el medio ambiente (Kaufmann, 1992, citado en Cleveland y Ruth, 1999, p. 88, y Cleveland, 2003, p. 8). Ergo, si el conocimiento puede ser considerado el “motor” del crecimiento económico, entonces el “combustible” que propulsa tal motor ha sido en las pasadas dos centurias la cantidad de energéticos fósiles utilizada de manera creciente (Luzzati, 2004, p. 339).

Empero, es tal la creencia de los economistas en el progreso tecnológico ilimitado y, por ende, en que el crecimiento económico puede desligarse del mundo natural, que abrigan la esperanza de llegar a descubrir o desarrollar una fuerza que se perpetúe a sí misma. Dicha fuerza, a la que denominan tecnología de contención, permitiría la producción de bienes sin insumo de “tierra” alguno mediante la sustitución continua de ésta por un compuesto de trabajo y capital. Así, esta tecnología lleva a asumir que la tierra, aunque útil, no es indispensable (Kurz y Salvadori, 2004, p. 12).

No se niega la importancia de las ideas, las cuales ciertamente han facultado al hombre para “arreglárselas” ante los problemas de agotamiento de recursos que históricamente

⁶⁷ A este tipo de máquinas y sustancias, Georgescu-Roegen (1975) las denominaría *innovaciones de sustitución*.

ha enfrentado; pero tampoco se puede desconocer que la implementación de éstas a través del cambio tecnológico es un proceso de trabajo gobernado por las mismas leyes físicas y ecológicas que cualquier otro proceso de este tipo, lo que también es válido para la tecnología *backstop* (Cleveland, 1987, p. 69; Sollner, 1999).

Además, el razonamiento subyacente a la esperanza mencionada parece débil dado que nada garantiza que el progreso tecnológico será lo suficientemente rápido y contundente como para evitar que la escasez de recursos constituya una restricción⁶⁸. En últimas, pretender que la “salvación” venga del avance de la tecnología es una extrapolación –basada en una apreciación equivocada– de lo que ha ocurrido en los pasados dos siglos, semejando más un acto de fe en el ser humano que un argumento científico⁶⁹ (Luzzati, 2004, p. 331).

Es así que, como alternativa a la tecnología de contención, y con el fin de afrontar el inminente agotamiento de energéticos fósiles, se aboga por la necesidad de reemplazar estos por energía solar capturada de manera sofisticada y que sustente el desarrollo de recetas *prometeicas* en el sentido que lo ha postulado Georgescu-Roegen (1994, pp. 175-176). Estas recetas reconocen las limitaciones entrópicas inherentes a todo conocimiento tecnológico, en contraste con la fantástica escapatoria de las leyes de la termodinámica por la que propugnan los adherentes a la tecnología *backstop*. El reto fundamental que enfrenta la humanidad hoy es, entonces, lograr explotar adecuadamente esta energía.

Otro aspecto que poco se ha considerado en relación con la ilusión de que el progreso tecnológico permita encontrar una “cura” para cualquier problema de escasez de recursos que se refleje en el mecanismo de precios es si dicho progreso seguirá la dirección

⁶⁸ Dasgupta y Heal (1974) reconocen indirectamente esta objeción al enfocar su atención en la incertidumbre relacionada con el *tiempo* exacto que tome descubrir una tecnología de contención disponible. La inquietud de estos autores es abordada posteriormente por Dasgupta y Stiglitz (1981), quienes estudian los patrones de consumo intertemporal de recursos agotables a que puede dar lugar dicha incertidumbre.

⁶⁹ “Los logros sin precedente de la Revolución Industrial sorprendieron de tal forma a todo el mundo con lo que podría hacer el hombre ayudado por las máquinas, que la atención general se concentró en las fábricas. El cúmulo de descubrimientos científicos espectaculares, facilitados por los nuevos hallazgos técnicos, consolidó el respeto general ante el poder de la tecnología. También indujo a los eruditos a sobrestimar y, finalmente, exagerar frente al público el poder de la ciencia. Naturalmente, desde este pedestal ni siquiera se podía concebir que existiera algún obstáculo real inherente a la condición humana”. Georgescu-Roegen, Nicholas. “La ley de entropía y el problema económico”. Traducción de Jaime Herrera Rojas y Eduardo L. Suárez. En: Daly, Herman E. (comp.). *Economía, Ecología, Ética. Ensayos hacia una economía en estado estacionario*. México: Fondo de Cultura Económica, 1989, p. 67.

“correcta”. Al respecto, se hace preciso tener en cuenta que la mayoría de los precios de los recursos naturales, debido a fallas de mercado o medidas de política económica (por ejemplo, subsidios), no son fijados de modo de expresar su escasez. Entonces, no existen incentivos suficientes para desarrollar tecnologías que reduzcan el uso de recursos, razón por la cual el cambio tecnológico puede tener efectos contrarios a los conjeturados al aumentar la utilización de aquellos⁷⁰.

No sobra destacar que, en general, la postura de los economistas sobre el cambio tecnológico y el crecimiento es ciertamente congruente con la noción walrasiana de progreso (económico) indefinido, según la cual la disminución de la escasez es posible sólo en virtud de una sustitución creciente de tierra por bienes de capital –conformados por productos– en la producción (Walras, 1987, lección 36). Esto corrobora el rol primordial que ha tenido el francés en la configuración de las teorías del crecimiento y, en último término, en la corriente principal de la teoría económica.

Teniendo en cuenta todos estos elementos, se puede concluir que el énfasis que ponen los economistas en el cambio tecnológico como el elemento que permitirá vencer los problemas asociados a la escasez de recursos naturales, brindando a la sociedad un “almuerzo gratis”, es una construcción adicional a las mencionadas en los capítulos anteriores que obedece a la finalidad de sustentar una visión preanalítica del sistema económico en la que se le otorga poca importancia a los recursos naturales y la energía. En las siguientes conclusiones se ahondará en las características de dicha visión así como en la incidencia conjunta de estas construcciones sobre la manera como las concepciones económicas del crecimiento han considerado los recursos.

⁷⁰ En la misma línea argumentativa, piénsese en el postulado de Khazzoom-Brookes o “efecto rebote”, que implica el menoscabo de los intentos por lograr conservación energética debido a que la mayor eficiencia de conversión de energía es percibida como reducciones de precios de los combustibles fósiles que, a su vez, generan incrementos en la demanda de energía que pueden sobrepasar las ganancias de eficiencia (Ayres y Warr, 2003, p. 14, footnote 11; Cleveland, 2003; Saunders, 1992).

ALGUNAS REFLEXIONES FINALES

El principio neoclásico de la productividad marginal y la hipótesis de maleabilidad del capital han desempeñado un papel fundamental en la teoría moderna del crecimiento económico, como se colige de la representación de la economía mediante un solo sector que produce un “bien compuesto” –que puede ser consumido o acumulado–, de la igualdad entre los productos marginales y las retribuciones de los factores y del teorema de Euler en el modelo de Solow-Swan así como en el que sirve de base para las teorías del crecimiento endógeno.

En virtud de estas premisas, la economía neoclásica concibe implícitamente la producción y la distribución como fenómenos idénticos, lo que le permite fundamentar una sola teoría sobre ambos de manera tal que la explicación del nivel de producto y su repartición entre trabajo y capital yace en el mismo conjunto de factores (Harcourt, 1975, pp. 14, 191-192; Cohen y Harcourt, 2003, p. 205).

Al respecto, recuérdese que el concepto de función de producción fue introducido por Wicksteed (1894) con el fin de analizar la distribución del ingreso entre los propietarios de factores. A partir de la enunciación que hiciera este autor del teorema de agotamiento del producto, los economistas neoclásicos han asociado la validez de la teoría de la distribución basada en la productividad marginal con la existencia de una función de producción (agregada), al punto de tratar estas dos cuestiones como equivalentes.

Similarmente, y como lo ponen de presente los economistas postkeynesianos en la “controversia de Cambridge” sobre teoría del capital, las premisas indicadas restringen el uso de la función de producción a un mundo de una mercancía todo propósito, un mundo que Clark reconoció como el único posible consistente con el análisis agregado neoclásico (Colacchio y Soci, 2003).

Partiendo de la noción de que el crecimiento económico consiste en una expansión de las actividades productivas, la función de producción constituye la base de la teoría moderna del crecimiento. En ese sentido, esta función puede ser entendida como una expresión metafórica útil para examinar los aspectos que dan lugar al crecimiento de la economía. Pero, asimismo, se pueden aprovechar su carácter y atributos para incorporar o eliminar elementos –símbolos– de modo de favorecer casi cualquier punto de vista particular, como lo ponen de manifiesto la introducción del capital humano y el cambio tecnológico.

Esta característica de la función de producción la ha hecho objeto de numerosas críticas relacionadas con su significado y relevancia así como con su correspondencia con los fenómenos del mundo real toda vez que, a este respecto, tiene un alcance muy limitado, como se evidencia en su escasa aplicabilidad para examinar procesos biológicos, consideraciones ambientales y, en fin, situaciones distintas al equilibrio de los mercados.

De hecho, la pretensión de describir la expansión de las actividades de producción y consumo con las premisas mencionadas anteriormente está asociada a la idea según la cual en la economía reina el equilibrio perpetuo y ha conducido a la disciplina económica a constreñirse de estudiar asuntos en los que podría hacer contribuciones importantes, amén de inducirla a derivar proposiciones de dudosa validez.

Ello se refleja en las teorías del crecimiento económico, las cuales poseen una estructura de equilibrio general (walrasiano). Los modelos de crecimiento que incorporan los recursos naturales, en particular, conservan esta misma estructura junto con los atributos de la función de producción y, por ende, subsumen analíticamente los recursos a la racionalidad de la hipótesis de capital maleable.

En general, la aproximación económica convencional no postula mecanismo de retroalimentación alguno entre la economía y el entorno natural; de ahí que minimice la importancia de los recursos naturales y la energía en la producción y el crecimiento económico y, sobretodo, las limitaciones que la ausencia de dichos elementos entraña sobre estos dos aspectos.

Al respecto, los economistas conciben que la ausencia de un recurso significa una restricción real sobre la producción cuando dicho recurso es “esencial”. Esta condición depende a su vez y de manera compleja de las posibilidades de sustitución que se asume existen en la economía. En ese sentido, tal condición está asociada teóricamente con la noción de maleabilidad, teniendo ambas suposiciones incidencia directa y conjunta sobre las teorías del crecimiento económico y, por tanto, en las discusiones sobre sostenibilidad.

La hipótesis de maleabilidad comporta que los componentes de un agregado de capital (homogéneo) son sustitutos perfectos entre sí. Esta hipótesis se puede expresar de diversas maneras, algunas de las cuales se han indicado a lo largo del presente trabajo. De estas expresiones, dos son pertinentes en lo que atañe a la relevancia de los recursos en el crecimiento económico, a saber, (1) la asunción de posibilidades de sustitución entre los recursos naturales y el capital hecho por el hombre, y (2) la distinción entre “capital natural”, “capital intelectual” y “capital humano”, entre otros, como constituyentes del capital.

Hasta los años noventa del siglo pasado, la teoría neoclásica del crecimiento económico sostuvo dos razones por las que los recursos naturales no son, en último término, esenciales para la producción y el bienestar humano: la acumulación de capital manufacturado, que sustituye los recursos en desaparición en cuanto sea posible, y/o el progreso tecnológico, que mejora la eficiencia en el uso de estos recursos o permite desarrollar sustitutos (Dasgupta y Heal, 1974 y 1979).

A partir de la década mencionada, las nuevas teorías del crecimiento arguyen que exclusivamente el cambio tecnológico, a través de la creación de nuevas ideas, da lugar a una expansión económica ilimitada en la que los recursos naturales pueden incluso no desempeñar papel alguno (Para una ilustración de este punto de vista, véanse Rebelo, 1991, y los modelos de crecimiento endógeno con recursos naturales que parten de la aproximación de este autor).

De esta manera, las teorías ortodoxas del crecimiento económico con motivaciones ecológicas ignoran las restricciones naturales al crecimiento al considerar irrelevantes la finitud de la tierra y la capacidad de sus recursos, pues gracias a las posibilidades de

sustitución y/o el progreso tecnológico no existen límites desde la perspectiva de la economía (Sollner, 1999, p. 105).

En relación con la sostenibilidad del desarrollo, lo anterior significa que la justicia intergeneracional y el eventual agotamiento de los recursos naturales son reconciliados invocando posibilidades de sustitución y progreso tecnológico inducido, situaciones que –se cree– evitan cualquier problema relacionado con los recursos para las generaciones futuras y cuya ocurrencia en una economía de mercado es vista como altamente probable (Luzzati, 2004, p. 331; Sollner, 1999, p. 104; Victor, 1991, p. 195).

En el primer capítulo, se establecieron los valores de la elasticidad de sustitución para los cuales los recursos son o no “esenciales”. Sin embargo, en el capítulo segundo se argumentó que la función de producción neoclásica, que satisface la condición de esencialidad, riñe con la esencialidad en términos físicos al contemplar que la energía y los materiales sean sustituidos por capital manufacturado. El último capítulo introduce la tecnología como factor productivo y muestra que el cambio tecnológico es una forma de sustitución de otros factores por conocimiento incorporado en bienes de capital mejorados y trabajadores más habilidosos. Así las cosas, los argumentos que aducen las teorías del crecimiento económico con recursos naturales para justificar que estos no son necesarios se reducen a uno solo: sustitución entre los elementos de la producción.

A esta misma conclusión se puede llegar por otra vía, valga decir, la inclusión de la naturaleza y la tecnología dentro del capital por medio de las categorías “capital natural” y “capital intelectual” o “capital humano”, respectivamente. Esta distinción implica que el medio ambiente puede ser sustituido por las distintas formas de capital que tienen origen en el hombre, en especial por capital manufacturado y conocimiento. La distinción entre estas categorías ha sido avalada por los economistas ambientales y ecológicos¹ y está asociada al auge del uso de conceptos referidos al capital con el fin de designar los factores productivos (Gudynas, 2000).

¹ En efecto, ésta es la postura enarbolada por El Serafy (1991, p. 170), a juzgar por la siguiente cita: “For practical reasons ... there are compelling reasons why Nature should be treated as capital. That it contributes to economic activity is not beyond dispute. To subsume it under land, would trivialize its contribution ... Under capital, one could bring in all kinds of things –including land and technology.”

No obstante, tanto las máquinas y herramientas como los trabajadores –independientemente del conocimiento o habilidades que tengan en sí– poseen requerimientos mínimos de energía y materia para su formación y mantenimiento. Luego, la sustituibilidad de los recursos naturales no conlleva la irrelevancia de la finitud de los mismos puesto que existen restricciones termodinámicas sobre la extensión a la que estos pueden ser reducidos (Stern, 2004), de modo que la escasez física de recursos limita el crecimiento.

Consecuentemente, asimismo, no es posible zanjar el asunto de la justicia intergeneracional ante el agotamiento de los recursos naturales invocando simplemente la sustitución y el progreso tecnológico; en cambio, este asunto tiene que ser aceptado como un problema real que amerita una discusión seria (Sollner, 1999).

En tal sentido, cabe advertir sobre las consecuencias prácticas derivadas de la distinción entre los tipos de capital mencionados antes en relación con los elementos e interacciones de los entornos naturales, particularmente en lo que concierne a las nociones de depreciación e inversión en conservación del capital natural, las cuales se sugiere examinar.

A este respecto, es necesario mencionar que “cuando la tierra se trata como capital, su fecundidad puede depreciarse como se deprecian otras formas de capital” (Daly y Cobb, 1993, p. 107) mediante el agotamiento y/o la degradación de los recursos naturales contenidos en ella; similarmente, invertir en conocimiento tecnológico para legar a las generaciones futuras puede ser tan rentable como invertir en capital natural².

Dado que estos enunciados están en la base del discurso vigente sobre la sostenibilidad del desarrollo, se pone de presente la pertinencia de su revisión. En suma, tanto las implicaciones teóricas –independientemente de la expresión o variante que tomen– como las consecuencias prácticas que se derivan de la noción económica convencional atinente a la definición y medición del capital señalan la necesidad de repensar esta categoría.

² Ésta última posición es defendida en la actualidad por Solow (1999b). Obsérvese que ella conlleva considerar el conocimiento como capital.

Una manera alternativa y virtualmente semejante de abordar los cuestionamientos hechos antes alude a cómo los economistas consideran las funciones de producción homogéneas lineales o las de elasticidad de sustitución constante como altamente representativas del sistema económico o, de manera alternativa, sumamente convenientes desde los puntos de vista matemático y teórico³, con lo que ignoran por completo su significado y consecuencias (Colacchio y Soci, 2003, p. 76).

Estas funciones violan las leyes de la termodinámica al tratar los recursos naturales indiferentemente frente a otros factores de la producción. En virtud de este tratamiento, las formas funcionales estándar de la producción asumen elasticidades de sustitución altas al punto de ser irrealistas desde una perspectiva biofísica –al menos si se aplican a todas las razones posibles entre capital y recursos– y, de esta manera, revelan su desatención hacia la interdependencia entre los recursos naturales y el capital construido por el hombre (Stern, 2004, p. 7; Cleveland, 2003; Sollner, 1999, p. 112; Cleveland y Ruth, 1999; Cleveland, 1987, pp. 67-68).

En este trabajo se ha mostrado que, en particular, la función de producción Cobb-Douglas tiene la peculiaridad de que satisface la condición de esencialidad a la vez que aborda los recursos igual que los otros factores productivos, como se manifiesta en la elasticidad de sustitución unitaria y en la imposibilidad de distinguir entre los distintos tipos de cambio tecnológico aumentativo (exógeno) (Dasgupta y Heal, 1979).

Esta última característica de la función Cobb-Douglas conlleva que no importa cuán lejos llegue la economía en sustituir recursos naturales por capital, el potencial de sustitución adicional nunca disminuye bien sea por la sustitución efectiva entre estos elementos o por la sustitución entre conocimiento incorporado en bienes de capital y recursos a través del cambio tecnológico (Victor, 1991, p. 196). Si se tiene en cuenta que esta función es la más común de las formulaciones ortodoxas de la función de producción, puede decirse

³ En relación con la hipótesis de maleabilidad, Harcourt (1975, p. 197) plantea que quienes abogan por el uso de las formas funcionales Cobb-Douglas y CES nunca han creído que éstas tengan correspondencia con la realidad, sino solamente que pueden ser útiles para interpretar las tendencias que se observan en ella, considerando dichas observaciones “como si” fuesen arrojadas por un mundo de jalea de las variedades referidas a las formas funcionales señaladas.

que dicha característica hace de la forma Cobb-Douglas un instrumento justificativo del tratamiento desdeñoso que la teoría económica da a los recursos naturales.

Lo anterior entra en contradicción con la condición de esencialidad. Empero, y como se demuestra en el segundo capítulo de este trabajo, la esencialidad es una condición matemática y no biofísica; por tanto, la aparente contradicción es resuelta enseguida. Dicho de otro modo, la contradicción no se presenta en el interior de la teoría económica, sino en la correspondencia entre ésta y la realidad física, pues lo señalado anteriormente implica que las propiedades de la función de producción neoclásica riñen con las restricciones termodinámicas inmanentes a la producción como transformación de materia y energía.

Tal contradicción es fruto de la formalización matemática propia de la teorización económica y la utilización *ad hoc* de supuestos sin ninguna relación con los fenómenos físicos a los que se pretende aludir –¿qué es, entonces, el crecimiento (en presencia de recursos finitos)?!– y que, en últimas, le restan consistencia a los modelos de la producción y el crecimiento con recursos naturales en la medida que no responden al propósito para el cual se les formula. Queda así claramente establecido que la economía convencional se apoya en la logicidad matemática tan cara a Walras y sus seguidores, pero también que dicha logicidad se halla completamente desconectada del mundo físico.

Estos supuestos (léase, la hipótesis de maleabilidad del capital y la condición de esencialidad) constituyen construcciones del sistema económico y de la importancia de los recursos naturales que no se corresponden con las realidades biofísicas inherentes al proceso productivo y el crecimiento de la economía y que, en cambio, coadyuvan a alimentar una visión preanalítica⁴ de dicho sistema en la que los recursos en cuestión no son relevantes.

Así las cosas, la contradicción externa descrita pone al descubierto una suerte de paradoja en la teoría neoclásica de la producción ya que, en la forma funcional más

⁴ La visión se refiere a los temores, esperanzas, estereotipos y juicios de valor (*i.e.*, pensamientos precientíficos) que, desarticulados, están en la base de todo análisis científico social (Heilbroner y Milberg, 1998, cap. 1; Georgescu-Roegen, 1996, p. 406).

comúnmente utilizada, es el criterio que define la esencialidad de los factores (esto es, elasticidad de sustitución unitaria) el que asimismo prueba que ningún recurso productivo es indispensable.

La asunción de casi perfecta sustituibilidad entre recursos naturales y capital ha sido motivada por el orgullo humano y su sueño de omnipotencia. Esto se expresa en la función de producción ortodoxa en la idea, implícita en ella, de que los resultados económicos y su expansión pueden ser dejados enteramente a discreción de la capacidad y la motivación humanas. De acuerdo con este punto de vista, el trabajo es el resultado de la asiduidad, el capital es el producto de la abstención y el progreso tecnológico es el fruto de la dedicación a aprender y a hacer investigación, todos estos rasgos característicos exclusivamente del hombre (Binswanger, 1998, p. 6).

Esta idea no toma en cuenta que la producción –y, en general, la actividad económica– es un proceso de organización y transformación de energía y materia de baja entropía en energía y materia de alta entropía que se lleva a cabo a través de un conjunto de operaciones en un lapso de tiempo determinado⁵, y que es irreversible (Colacchio y Soci, 2003, p. 101; Ayres y Warr, 2004, pp. 11-12; Ayres, 1978; Georgescu-Roegen, 1996). En virtud de ello, los principios físicos y biológicos sugieren la importancia de los flujos materiales, energéticos y de información, así como una fuerte interdependencia entre estos flujos y los agentes que los extraen, transforman y utilizan (Christensen, 1989).

Sería preciso que la formulación teórico-económica de la producción reflejase estas características. No obstante, los economistas asumen lo mencionado arriba, y en especial lo que ocurre dentro del proceso productivo, como un dato. Por tal razón, difícilmente se puede decir que la función de producción (agregada) neoclásica describa de manera fiel el componente estrictamente técnico de la producción, y menos que lo analice (Colacchio y Soci, 2003, p. 101). Particularmente, la autonomía de los factores

⁵ “Often, the productive process is represented without paying much heed to the meaning of the very words used. Process is a sequence of phenomena linked to one another, and cannot be separated from the dimension of time.” Colacchio, Giorgio and Soci, Anna. “On the aggregate production function and its presence in modern macroeconomics.” *Structural Change and Economic Dynamics*, Vol. 14, Issue 1, March 2003, p. 101.

productivos (dados) y el principio de productividad separable dan poca cuenta de la interdependencia sugerida por las leyes físicas y ecológicas⁶ (Christensen, 1989, p. 19).

Al respecto, un tema que no se ha considerado en este trabajo es que, como resultado del proceso productivo, también se expelen desechos. La función de producción ortodoxa y, por ende, los modelos de crecimiento que se basan en ella no reflejan en modo alguno este hecho. En efecto, la conceptualización neoclásica implica falsamente que los residuos y las emisiones –si existen– no hacen ningún daño y pueden ser descartados a un costo insignificante (Ayres y Warr, 2003, p. 5). Sin embargo, los efectos ambientales de la contaminación pueden limitar el crecimiento económico y el bienestar humano, tal como se observa en la actualidad con los impactos del cambio climático y otras manifestaciones de creciente polución.

Todo lo anterior se corresponde con el paradigma mecanicista subyacente en el pensamiento económico neoclásico desde sus inicios y que se evidencia en la representación de las actividades económicas (diagrama circular del ingreso) a través de un flujo completamente cerrado que reduce el proceso económico a un sistema mecánico autosostenido (Georgescu-Roegen, 1989, p. 61).

De igual modo, este paradigma se expresa en la producción en los supuestos –explícitos e implícitos– de producción instantánea, tecnología reversible y sustituibilidad irrestricta entre los factores, amén de otros rasgos que le permiten a la teoría neoclásica justificar la ignorancia de interacciones complejas y, entre ellas, las leyes de la termodinámica y sus implicaciones (Sollner, 1999).

En síntesis, en este paradigma el ecosistema es visto como un subsistema del sistema económico y alrededor del cual puede crecer este último en virtud de la sustitución de tierra y recursos naturales por capital, siguiendo los dictados del mercado. La naturaleza

⁶ Uno de los aspectos en los que se hace más evidente este hecho es en la omisión del tiempo como variable explícita, lo cual es un correlato del carácter estático de la teoría de la productividad marginal (Georgescu-Roegen, 1996, p. 311; Naredo, 1996, p. 293) al igual que consistente con la concepción neoclásica –wallasiana– de la producción como modalidad del intercambio en condiciones de libre competencia. Esto no excluye la pretensión dinámica de los modelos de crecimiento, toda vez que en economía la dinámica se concibe como una simple sucesión de puntos de equilibrio estáticos.

resulta ser entonces un proveedor de bloques de construcción indestructibles, superabundantes y sustituibles. El único limitante al crecimiento proviene de la técnica; pero, dado que se asume que el cambio tecnológico no posee límites, el crecimiento económico es ergo ilimitado (Daly, 1999c, p. 12).

Así las cosas, los modelos de la producción y el crecimiento parten de una visión en la cual las actividades económicas pueden desligarse de su sustento material y energético. Esta visión no sólo ha influido en el trabajo teórico, sino también en el empírico, como se evidencia en las investigaciones recientes que buscan desesperadamente corroborar la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets⁷ y en la percepción de que la tendencia hoy vigente hacia la desmaterialización llevará en el futuro a una situación en la que la producción será totalmente inmaterial.

Como se ha argumentado a lo largo del presente trabajo, tal visión es incongruente con la realidad biofísica y ha hecho a la ciencia económica objeto de fuertes cuestionamientos en los últimos años pues, al decir de Joan Robinson (1965, p. 86), es una arrogancia injustificable formular modelos en los que la producción se lleva a cabo mediante el esfuerzo humano con ayuda de equipo fabricado por el hombre y en los que se olvidan los frutos propicios que brinda la tierra.

Contrario a lo que postula el paradigma mecanicista, la economía es un subsistema del sistema natural (ecosistema). El crecimiento económico, en consecuencia, es un proceso de transformación material y energética que tiene lugar dentro de un entorno finito, no creciente y materialmente cerrado; por tanto, está en última instancia limitado por el tamaño del sistema total del cual hace parte, incluso bajo la hipótesis neoclásica de maleabilidad (Daly, 1999c, p. 19).

Es así como se sugiere la necesidad de un paradigma alternativo y, como correlato, de una teoría de la producción y del crecimiento nueva en la que se reconozca la

⁷ Esta hipótesis plantea una supuesta relación empírica en forma de U invertida entre el ingreso y la degradación ambiental. Las principales críticas a los trabajos sobre la EKC señalan que tal hipótesis se deriva una concepción de la economía en la que el daño al medio ambiente es reversible y en la que se asume que no existen relaciones de retroalimentación entre la calidad ambiental y las posibilidades de producción (Arrow *et al.*, 1995; Stern, Common y Barbier, 1996).

heterogeneidad de los elementos productivos y en la que la exactitud de la representación analítica de la realidad económica y biofísica reemplace a la viabilidad matemática como principal criterio.

Aun cuando la naturaleza pueda no ser susceptible de valoración, apropiación e intercambio, su contribución al proceso productivo hace imperiosa su consideración en el análisis de la producción. Tener en cuenta la naturaleza en la nueva teoría revelará que la idea de que los resultados económicos y su expansión pueden ser dejados a discreción de la capacidad y la motivación del hombre es una ilusión y que no es posible aferrarse al sueño de omnipotencia humana.

En tal sentido, vale la pena retomar la noción de *factor limitante* propuesta por Daly (1994, p. 54) e introducida en el segundo capítulo de este trabajo. Esta noción reconoce la complementariedad e interdependencia dominante en los procesos productivos de la economía como un todo, por lo que permite abordar la esencialidad biofísica de los recursos naturales y se constituye en una alternativa pertinente a la condición de esencialidad enarbolada por los economistas neoclásicos.

También, cabe abandonar la noción subyacente de equilibrio en la representación de las actividades económicas y su expansión. Esta premisa carece de realismo y plausibilidad dado que el equilibrio no es connatural a proceso económico alguno. Más aún, como demostró Schumpeter (1957) y se indicó en el capítulo tercero, el equilibrio general es inconsistente con las innovaciones radicales que modifican la estructura de la economía. Por lo tanto, la noción de equilibrio, al igual que los principios e hipótesis que giran en torno a ella, constituyen herramientas inapropiadas para analizar el cambio tecnológico y, por ende, el crecimiento económico (Mokyr, 1993, p. 339).

En este mismo sentido, hay que recabar sobre una diferencia entre los planteamientos neoclásicos y schumpeterianos, la cual se refiere al carácter del crecimiento y el desenvolvimiento económico, respectivamente. La economía convencional entiende que las actividades económicas se expanden en el tiempo de manera lineal; en contraste, Schumpeter (1964) concibe que el desenvolvimiento económico se lleva a cabo por ciclos

(esto es, circularmente) que, debido a la discontinuidad y espontaneidad propia del proceso en cuestión, no presentan periodicidades.

Lo anterior remite a su vez a una posible discrepancia en lo que concierne a la concepción del tiempo. Los economistas neoclásicos desprecian el papel de este elemento tanto en la teoría de la producción como en la del crecimiento al verlo como carente de importancia intrínseca (*ergódico*). Esto es contrario a la definición y caracterización schumpeteriana del desenvolvimiento económico, que parece conferirle al tiempo una significación especial.

Otro aspecto a tener en cuenta en la nueva teoría es el tratamiento de la demanda, el cual ha sido insuficiente e inadecuado en las teorías del crecimiento postuladas hasta el momento. Estas teorías se han adscrito implícitamente a la ley de Say en la medida que suponen que la expansión económica resultante del crecimiento es absorbida por los consumidores, bien sea en el presente o en el futuro; de esta manera, ellas ignoran los nexos de retroalimentación entre la producción y la demanda y, consiguientemente, el rol que esta última desempeña en el cambio tecnológico y el crecimiento económico.

Frente a esta postura, Schumpeter le concede a la demanda un papel muy importante, como se colige de su distinción entre invención e innovación. Al respecto, en el capítulo tercero se señaló que la invención es un acontecimiento técnico que no necesariamente precede ni conduce a la innovación, siendo esta última la articulación de un método de producción y/o comercialización nuevo a una demanda solvente (Vegara, 1989, cap. 1). Luego, al desempeñar la demanda un rol fundamental en la puesta en marcha de innovaciones y, en consecuencia, en el desenvolvimiento económico, este autor evidencia su poca inclinación hacia la ley de Say.

Así las cosas, se plantea la necesidad de reconocer que el crecimiento es un proceso de cambio estructural que tiene lugar en un tiempo histórico (no ergódico) y que, por su naturaleza económica, no comporta equilibrio alguno. En virtud de esta última consideración, asimismo, el crecimiento no se puede desligar de su finalidad fundamental, cual es –en términos de la propia teoría económica convencional– la provisión de

bienestar vía la satisfacción de una demanda. Similarmente, pero debido a su naturaleza física, el crecimiento posee fuertes vínculos con la materia-energía que lo sustenta.

Existen muchos otros aspectos que valdría la pena incorporar en esta nueva teoría de la producción y el crecimiento; pero, para finalizar, cabe considerar la discrepancia entre las concepciones económica y física de la escasez, ya que esta discrepancia explica por qué no se ha suscitado aún un viraje significativo en la economía tal que circunscriba los recursos naturales dentro de sus límites analíticos y postule, en consecuencia, condiciones comprensivas para alcanzar la sostenibilidad.

Sobre este punto, las reacciones frente a la divulgación del Informe para el Club de Roma *Los límites del crecimiento*, la emergencia del movimiento ambientalista y los fuertes incrementos en los precios del petróleo a comienzos de la década del setenta del siglo pasado hicieron perfilar dos vertientes de pensamiento diferentes en torno a las relaciones entre el crecimiento económico y el medio natural, a saber, la economía (ambiental) neoclásica y la economía ecológica o biofísica.

La economía convencional, obligada a dar respuestas frente a los hechos aludidos, incorpora la naturaleza en su marco analítico al considerarla un bien económico y, de este modo, extender el radio de acción del instrumental teórico corriente para abordarla. En concordancia, esta vertiente interpreta el crecimiento con recursos naturales como un problema de asignación de recursos escasos que debería ser dejado al mercado, en la medida que ello sea posible (Luzzati, 2004, pp. 330-331; Sollner, 1999, p. 104).

Por esta razón, los economistas ortodoxos se interesan más en las condiciones institucionales (estructuras de mercado, sistemas de derechos de propiedad y de valores hacia las generaciones futuras) que en las condiciones técnicas (dotaciones iniciales de recursos naturales y capital, facilidad de sustitución entre insumos) que conducen al crecimiento sostenible. En general, estos científicos asumen *a priori* que la sostenibilidad es viable desde una perspectiva técnica, de ahí que centren su atención en las condiciones institucionales que pueden llevar a ella (Cleveland, 2003; Stern, 2004).

Los economistas ecológicos, por su parte, han criticado la posición anterior sobre la base de consideraciones termodinámicas y biológicas. Según estos, concebir el crecimiento en presencia de recursos naturales que se agotan o degradan como un problema de escasez económica que se puede solucionar apelando solamente al mercado –el ordenamiento institucional para la realización de intercambios– no da cuenta del problema real derivado de la escasez física de recursos a la que inexorable e irreversiblemente están llevando las acciones antrópicas.

En consonancia, estos autores demuestran la inviabilidad de las condiciones técnicas supuestas por los economistas neoclásicos. El presente trabajo va en línea con esta postura, por lo que se propugna por una revisión de las condiciones estudiadas que sea acorde con el reconocimiento de la inevitable escasez física de los recursos naturales como consecuencia de las actuaciones del ser humano en un mundo regido por restricciones termodinámicas. Como se ha indicado en estas conclusiones, lo anterior exige la adopción de una nueva visión preanalítica del sistema económico. Sólo de esta manera la teoría económica podrá afrontar satisfactoriamente los retos que el sostenimiento presente y futuro de las actividades de producción y consumo le impone.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGHION, Philippe and HOWITT, Peter. *Endogenous Growth Theory*. Cambridge: The MIT Press, 1998, Chapter 5.

_____. "A Model of Growth Through Creative Destruction." *Econometrica*, Vol. 60, No. 2, March 1992, pp. 323-351.

ARROW, Kenneth *et al.* "Economic Growth, Carrying Capacity, and the Environment." *Science*, Vol. 268, April 1995, pp. 520-521.

AYRES, Robert U. "The minimum complexity of endogenous growth models: the role of physical resource flows." *Energy*, Vol. 26, Issue 9, 2001, pp. 817-838. <<http://www.elsevier.com/locate/energy>> (September 8, 2005).

_____. "Application of Physical Principles to Economics." In: *Resources, Environment, and Economics: Applications of the Materials/Energy Balance Principle*. New York: John Wiley & Sons, 1978, Chapter 3.

AYRES, Robert U. and VAN DEN BERGH, Jeroen C. G. M. "A theory of economic growth with material/energy resources and dematerialization: Interaction of three growth mechanisms." *Ecological Economics*, Vol. 55, Issue 1, October 2005, pp. 96-118.

AYRES, Robert U. and WARR, Benjamin. "Accounting for growth: the role of physical work." *Structural Change and Economic Dynamics*, Vol. 16, Issue 2, June 2005, pp. 181-209. <<http://www.elsevier.com/locate/econbase>> (September 27, 2005).

_____. "Dematerialization vs. growth: Is it possible to have our cake and eat it?" Mimeo. Fontainebleau: INSEAD, 2004. <<http://ged.insead.edu/fichiersti/inseadwp2004/2004-18.pdf>> (May 11, 2004).

_____. *Two Paradigms of Production and Growth*. Mimeo. Fontainebleau: INSEAD-Center for the Management of Environmental Resources, 2003. <http://www.iiasa.ac.at/Research/ECS/IEW2003/Papers/2003P_Ayres.pdf> (September 26, 2005).

BARRO, Robert J. and SALA-I-MARTIN, Xavier. *Economic Growth*. Second edition. Cambridge and London: The MIT Press, 2004.

BAUNGÄRTNER, Stefan. "The Inada Conditions for Material Resource Inputs Reconsidered." *Environmental & Resource Economics*, Vol. 29, 2004, pp. 307-322. <http://www.eco.uni-heidelberg.de/ng_oeoe/research/papers/Baumgartner%202004%20ERE.pdf> (September 27, 2005).

BECKER, Gary S. *Human Capital – A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education*. Second edition. New York: Columbia University Press, 1975. Traducción de Marta Casares y José Vergara. *El Capital Humano. Un análisis económico y empírico referido fundamentalmente a la educación*. Madrid: Alianza, 1983.

BERNDT, Ernst R. and WOOD, David O. "Engineering and Econometric Interpretations of Energy-Capital Complementarity." *The American Economic Review*, Vol. 69, No. 3, June 1979, pp. 342-354.

_____. "Technology, Prices, and the Derived Demand for Energy." *The Review of Economics and Statistics*, Vol. LVII, No. 3, August 1975, pp. 259-268.

BINSWANGER, Hans Christoph. "Making sustainability work." *Ecological Economics*, Vol. 27, No. 1, October 1998, pp. 3-11.

BÖHM-BAWERK, Eugen von. *The Positive Theory of Capital*. First published in German, 1888. Translated by William A. Smart. London: Macmillan, 1891. Online edition 2002. <<http://www.econlib.org/library/BohmBawerk/bbPTC.html>> (September 26, 2004).

BOLAÑOS C., Eduardo A. "Introducción a la teoría neoclásica del valor: Teoría del Equilibrio General". *Lecturas de Economía*, No. 41, julio-diciembre 1994, pp. 11-57.

BRANSON, William H. *Macroeconomic Theory and Policy*. New York: Harper & Row, 1972. Traducido por Jaime Herrera Rojas y Eduardo L. Suárez. *Teoría y política macroeconómica*. México: Fondo de Cultura Económica, 1977.

BRETSCHGER, Lucas. "Economics of technological change and the natural environment: How effective are innovations as a remedy for resource scarcity?" *Ecological Economics*, Vol. 54, Nos. 2-3, August 2005, pp. 148-163.

BROWN, Stephen P. A. and WOLK, Daniel. "Natural Resource Scarcity and Technological Change." *Economic and Financial Review*. Federal Reserve Bank of Dallas, First Quarter 2000, pp. 2-13. <<http://www.dallasfed.org/research/efr/2000/efr0001a.pdf>> (March 25, 2005).

CHAMPERNOWNE, D. G. "The Production Function and the Theory of Capital: A Comment." *Review of Economic Studies*, Vol. 21, 1953, pp. 112-135. Traducción de Eduardo L. Suárez. "La función de producción y la teoría del capital: Un comentario". En: Harcourt, G. C. y Laing, N. F. (compiladores). *Capital y crecimiento*. México: Fondo de Cultura Económica, Serie Lecturas del Trimestre Económico 18, 1977, pp. 68-101.

CHERNI, Judith A. "Tecnología energética y sostenibilidad ecológica en el marco de la globalización neo-liberal". *Energética*, No. 28, diciembre de 2002.

CHIANG, Alpha C. *Fundamental Methods of Mathematical Economics*. McGraw-Hill, 1984. Traducción de Francisco Muñoz Murgui y Ramón Sala Garrido. *Métodos fundamentales de economía matemática*. Tercera edición. Madrid: McGraw-Hill, 1987.

CHRISTENSEN, Paul P. "Historical Roots for Ecological Economics – Biophysical versus Allocative Approaches." *Ecological Economics*, Vol. 1, Issue 1, 1989, pp. 17-36.

CLARK, John Bates. *The Distribution of Wealth: A Theory of Wages, Interest and Profits*. 1899. 1908 edition. New York: Macmillan. Online edition 2001. <<http://www.econlib.org/library/Clark/clkDW.html>> (August 10, 2004).

_____. "Distribution as Determined by a Law of Rent." *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 5, April 1891. Electronic edition. <<http://cepa.newschool.edu/het>> (April 3, 2004).

CLEVELAND, Cutler J. "Biophysical Constraints to Economic Growth." In: Al Gobaisi, D. (editor). *Encyclopedia of Life Support Systems*. Oxford: EOLSS, 2003. <http://software9.bu.edu/cees/people/faculty/cutler/articles/EOLSS_Biophys_sys.pdf> (September 27, 2005).

_____. "Biophysical Economics: Historical Perspective and Current Research Trends." *Ecological Modelling*, Vol. 38, 1987, pp. 47-73.

CLEVELAND, Cutler J. and RUTH, Matthias. "When, where, and by how much do biophysical limits constrain the economic process? A survey of Nicholas Georgescu-Roegen's contribution to ecological economics." *Ecological Economics*, Vol. 22, No. 3, September 1997, pp. 203-223. Traducción de Ramón Alonso Berrío. "¿Cuándo, dónde y por cuánto los Límites Biofísicos restringen El Proceso Económico? Una investigación sobre la contribución de Georgescu Roegen a la economía ecológica". En: *Economía ¿Ecológica?* Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 1999, pp. 61-96.

CLEVELAND, Cutler J. *et al.* "Energy and the U.S. Economy: A Biophysical Perspective." *Science*, Vol. 225, 31 August 1984, pp. 890-302.

COBB, Charles W. and DOUGLAS, Paul H. "A Theory of Production." *The American Economic Review*, Vol. 18, Issue 1. Papers and Proceedings of the Fortieth Annual Meeting of the American Economic Association, March 1928, pp. 139-165. 2001 electronic edition. <<http://alpha.montclair.edu/~lebelp/CobbDouglasProdAER1928.pdf>> (October 24, 2004).

COHEN, Avi J. and HARCOURT, G. C. "Whatever Happened to the Cambridge Capital Theory Controversies?" *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 17, No. 1, Winter 2003, pp. 199-214.

COLACCHIO, Giorgio and SOCI, Anna. "On the aggregate production function and its presence in modern macroeconomics." *Structural Change and Economic Dynamics*, Vol. 14, Issue 1, March 2003, pp. 75-107. <<http://www.elsevier.com/locate/econbase>> (August 3, 2005).

COMMON, Mick and PERRINGS, Charles. "Towards an Ecological Economics of Sustainability." *Ecological Economics*, Vol. 6, Issue 1, 1992, pp. 7-34.

COSTANZA, Robert and DALY, Herman E. "Natural Capital and Sustainable Development." *Conservation Biology*, Vol. 6, No. 1, March 1992, pp. 37-46.

D'AGATA, Antonio and FRENI, Giuseppe. "The structure of growth models: a comparative survey." In: Salvadori, Neri (editor). *The Theory of Economic Growth. A 'Classical' Perspective*. Cheltenham and Northampton: Edward Elgar, 2004, pp. 23-41. <http://www-dse.ec.unipi.it/salvadori/pdf/Theory_CRC.pdf.pdf> (November 18, 2004).

DALY, Herman E. "Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz." *Ecological Economics*, Vol. 32, No. 3, September 1997, pp. 261-266. Traducción de Ramón Alonso Berrío. "Georgescu-Roegen vs. Solow/Stiglitz". En: *Economía ¿Ecológica?* Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 1999a, pp. 31-40.

_____. "Reply to Solow/Stiglitz." *Ecological Economics*, Vol. 32, No. 3, September 1997, pp. 271-273. Traducción de Ramón Alonso Berrío. "Réplica a Solow/Stiglitz". En: *Economía ¿Ecológica?* Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 1999b, pp. 47-50.

_____. *Ecological Economics and the Ecology of Economics: Essays in Criticism*. Cheltenham: Edward Elgar, 1999c, Chapter 2.

_____. "From empty world to full world economics: Recognising an historical turning point in economic development." In: Goodland, Robert *et al.* (editors). *Environmentally Sustainable Economic Development: Building on Brundtland*. Paris: UNESCO, 1991. Traducción de Mercedes Guhl Corpas. "De la economía de un mundo vacío a la de un mundo lleno. Reconocimiento de una coyuntura histórica en el desarrollo económico". En: *Desarrollo Económico Sostenible*. Bogotá: Tercer Mundo-Uniandes, marzo de 1994.

DALY, Herman E. and COBB, John B. *For the Common Good. Redirecting the Economy toward Community, The Environment, and a Sustainable Future*. Boston: Beacon Press, 1989. Traducción de Eduardo L. Suárez. *Para el bien común. Reorientando la economía hacia la comunidad, el ambiente y el futuro sostenible*. México: Fondo de Cultura Económica, 1993.

DASGUPTA, Partha. "Natural Resources in an Age of Substitutability." In: Kneese, Allen V. and Sweeney, James L. (editors). *Handbook of Natural Resource and Energy Economics*. 3 volumes. Amsterdam: North-Holland, 1993, Vol. III, pp. 1111-1130.

DASGUPTA, P. S. and HEAL, G. M. *Economic Theory and Exhaustible Resources*. Cambridge, New York and Melbourne: Cambridge University Press, 1979, Chapter 7.

DASGUPTA, Partha and HEAL, Geoffrey. "The Optimal Depletion of Exhaustible Resources." *Review of Economic Studies*, Vol. 41, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 1974, pp. 3-28.

DASGUPTA, Partha and STIGLITZ, Joseph. "Resource Depletion under Technological Uncertainty." *Econometrica*, Vol. 49, No. 1, January 1981, pp. 85-104.

DEWEY, Donald. *Modern Capital Theory*. New York: Columbia University Press, 1965. Traducción de Carlos Villegas García. *Teoría Moderna del Capital*. México: Herrero Hermanos Sucesores, septiembre de 1967.

DOBB, Maurice. *Theories of Value and Distribution since Adam Smith*. Cambridge University Press, 1973. Traducción de Rosa Cusminsky de Cendrero. *Teorías del Valor y*

la Distribución desde Adam Smith. Ideología y Teoría Económica. Quinta edición. México: Siglo XXI, 1981.

EL SERAFY, Salah. "The Environment as Capital." In: Costanza, Robert (editor). *Ecological Economics. The Science and Management of Sustainability.* New York: Columbia University Press, 1991, pp. 168-175.

ENCICLOPEDIA PLANETA. "Teoría de la distribución". *Diccionario Enciclopédico.* Barcelona: Planeta, 1980.

ENGLAND, Richard W. "Natural capital and the theory of economic growth." *Ecological Economics*, Vol. 34, No. 3, September 2000, pp. 425-431.

ESCOBAR GALLO, Heriberto y CUARTAS MEJÍA, Vicente. "Capital humano", "Trabajo". *Diccionario Económico-Financiero.* Segunda edición. Santafé de Bogotá: Puntos Suspendingos, 1996.

FLUX, Alfred W. "Review of Philip H. Wicksteed's Essay on the Co-ordination of the Laws of Distribution." *The Economic Journal*, Vol. 14, Issue 14, June 1894, pp. 303-313. Electronic edition. <<http://cepa.newschool.edu/het/flux/fluxess.pdf>> (January 23, 2004).

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. *The Entropy Law and the Economic Process.* Harvard University Press, 1971. Traducción de Luis Gutiérrez Andrés y María Victoria López Paños. *La Ley de la Entropía y el Proceso Económico.* Madrid: Argenteria-Visor, Colección Economía y Naturaleza, Serie "Textos Básicos" 3, 1996.

_____. "Nicholas Georgescu-Roegen about Himself." In: Szemberg, Michael (editor). *Eminent Economists.* Cambridge University Press, 1992. Traducción de Flora Casas. "Nicholas Georgescu-Roegen sobre sí mismo". *Grandes economistas de hoy. El testimonio vivo y la visión del mundo de los grandes economistas de hoy.* Madrid: Debate, 1994, pp. 149-186.

_____. "The Entropy Law and the Economic Problem." In: Daly, Herman E. (editor). *Economics, Ecology, Ethics. Essays Toward a Steady State Economy*. San Francisco: Freeman, 1979. Traducción de Jaime Herrera Rojas y Eduardo L. Suárez. "La ley de entropía y el problema económico". En: *Economía, Ecología, Ética. Ensayos hacia una economía en estado estacionario*. México: Fondo de Cultura Económica, 1989, pp. 61-72.

_____. "Selections from 'Energy and Economic Myths'." *Southern Economic Journal*, Vol. 41, No. 3, January 1975. Electronic edition. <<http://www.geocities.com/combusem/GEORGESC.HTM>> (January 9, 2005).

GÓMEZ ECHEVERRY, Luis Fernando. *El concepto de trabajo en Podolinsky y su crítica al concepto de trabajo en economía clásica*. Monografía de grado. Medellín: Universidad Nacional de Colombia-Facultad de Minas, 2000.

GÓMEZ G., Luis Jair. *Introducción a la ecología global*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia-Facultad de Ciencias Humanas y Económicas, diciembre de 2002.

_____. "De la economía natural a la economía ecológica". *Revista de Extensión Cultural*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, abril 2000, pp. 43-58.

GÓMEZ GIRALDO, Luis Jair y POSADA LONDOÑO, Luis Guillermo. *Cambios en las Relaciones Economía-Naturaleza (Desde la Grecia Antigua hasta nuestros días)*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2003.

GOODWIN, Neva R. *Five Kinds of Capital: Useful Concepts for Sustainable Development*. Global Development and Environment Institute Working Paper No. 03-07. Medford: Tufts University, September 2003. <<http://ase.tufts.edu/gdae>> (October 4, 2003).

GROSSMAN, Gene M. and HELPMAN, Elhanan. *Innovation and Growth in the Global Economy*. Cambridge and London: The MIT Press, 1991.

GUDYNAS, Eduardo. *Los límites de la sustentabilidad débil, y el tránsito desde el capital natural al patrimonio ecológico*. Caracas: Revista ETA, 2000. Documento de la Red Latino Americana y Caribeña de Ecología Social. <<http://www.ambiental.net/claes/biblioteca/Gudynas%20Capital%20Natural.htm>> (23 de enero de 2002).

HALL, Charles *et al.* "The Need to Reintegrate the Natural Sciences with Economics." *Bioscience*, Vol. 51, No. 8, August 2001, pp. 663-673.

HARCOURT, G. C. *Some Cambridge Controversies in the Theory of Capital*. London: Cambridge University Press, 1972. Traducción de Javier Quesada. *Teoría del capital (Una controversia entre los dos Cambridge)*. Barcelona: Oikos-Tau, 1975.

HARCOURT, G. C. and LAING, N. F. (compiladores). *Capital and Growth*. Harmondsworth: Penguin, 1971. Traducción de Eduardo L. Suárez. *Capital y Crecimiento*. México: Fondo de Cultura Económica, 1977, Introducción.

HEATHFIELD, David F. *Production Functions*. London and Basingstoke: Macmillan, 1971. Traducción de Fernando Hoffmann Pérez. *Funciones de producción*. Barcelona: Vicens-Vives, 1974.

HEILBRONER, Robert and MILBERG, William. *The Crisis of Vision in Modern Economic Thought*. New York: Cambridge University Press, 1995. Traducción de Fernando Pardo. *La crisis de visión en el pensamiento económico moderno*. Barcelona y Buenos Aires: Paidós, 1998.

HENNINGS, K. H. "Capital as a factor of production." In: Eatwell, John; Milgate, Murray and Newman, Peter (editors). *The New Palgrave. A Dictionary of Economics*. Volume 1. London, New York and Tokyo: Macmillan, 1987, pp. 327-333.

HICKS, J. R. *The Theory of Wages*. 2nd edition. London: Macmillan, 1964. Traducción de Alejandro Pedrós Abelló. *La teoría de los salarios*. Barcelona: Labor, 1973.

HICKS, John R. *Capital and Growth*. Oxford University Press, 1965. Traducción de Antonio Bosch Domenech y Alfredo Pastor Bodmer. *Capital y crecimiento*. Barcelona: Bosch, 1967.

HOUNIE, Adela *et al.* "La CEPAL y las nuevas teorías del crecimiento". *Revista de la CEPAL*, No. 68, agosto 1999, pp. 7-33.

HUBACEK, Klaus and VAN DEN BERGH, Jeroen C. J. M. "Changing concepts of 'land' in economic theory: From single to multi-disciplinary approaches." *Ecological Economics*, Vol. 56, Issue 1, January 2006, pp. 5-27. <<http://www.elsevier.com/locate/ecolecon>> (January 24, 2006).

INSTITUTO DE ECONOMÍA ENERGÉTICA. *Economía de la Energía*. San Carlos de Bariloche, 1994.

JEVONS, W. Stanley. *The Coal Question. An Inquiry concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines*. London and Cambridge: Macmillan, 1865.

KOUTSOYIANNIS, A. *Modern Microeconomics*. Macmillan, 1979. Traducción de Leandro Wolfson y Elsa Kraisman. *Microeconomía moderna*. Buenos Aires: Amorrortu, 1985.

KÜMMEL, R. "Energy, Creativity, and Sustainable Growth." In: Tolba, M. K. (editor). *Our Fragile World. Challenges and Opportunities for Sustainable Development*. Oxford: EOLSS, 2001, pp. 409-425.

KURZ, Heinz D. and SALVADORI, Neri. "Theories of economic growth: old and new." In: Salvadori, Neri (editor). *The Theory of Economic Growth. A 'Classical' Perspective*. Cheltenham and Northampton: Edward Elgar, 2004, pp. 1-22. <http://www-dse.ec.unipi.it/salvadori/pdf/Theory_CRC.pdf.pdf> (November 18, 2004).

LEWIN, Peter. "The Capital Idea and the Scope of Economics." *The Review of Austrian Economics*, Vol. 18, No. 2, 2005, pp. 145-167. <<http://utd.edu/~plewin/The%20Capital%20Idea%20and%20the%20Scope%20of%20Economics%20rev4.pdf>> (June 9, 2005).

_____. "The production function approach." Online edition. <<http://www.utdallas.edu/~plewin/production.html>> (August 4, 2005).

LORA, Eduardo y STEINER, Roberto. "La estructura de la economía colombiana". En: Lora, Eduardo; Ocampo, José Antonio y Steiner, Roberto (coords.). *Introducción a la macroeconomía colombiana*. Tercera edición. Santafé de Bogotá: Tercer Mundo-Fedesarrollo, enero de 1994, pp. 1-53.

LUZZATI, Tomasso. "Growth theory and the environment: how to include matter without making it really matter." In: Salvadori, Neri (editor). *The Theory of Economic Growth. A 'Classical' Perspective*. Cheltenham and Northampton: Edward Elgar, 2004, pp. 329-341. <http://www-dse.ec.unipi.it/salvadori/pdf/Theory_CRC.pdf.pdf> (November 18, 2004).

MANRIQUE DÍAZ, Óscar Gonzalo y GRANDA CARVAJAL, Catalina. *Introducción a las Relaciones Energía-Desarrollo*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, septiembre 2004, Capítulo 1.

MARSHALL, Alfred. *Principles of Economics*. 8th edition. London: Macmillan. Traducción de Emilio de Figueroa. *Principios de Economía*. Madrid: Aguilar, 1948.

MARTÍNEZ ALIER, Joan y SCHLÜPMANN, Klaus. *La ecología y la economía*. México: Fondo de Cultura Económica, 1991.

MARX, Carlos. *Trabajo Asalariado y Capital*. Traducido del alemán del folleto publicado en Berlín, 1891.

_____. *Das Kapital*. 1867. Traducción de Wenceslao Roces. *El Capital. Crítica de la Economía Política*. Segunda edición. 3 volúmenes. México: Fondo de Cultura Económica, 1959.

_____. *Introducción General a la Crítica de la Economía Política*. 1857. Santafé de Bogotá: Esquilo.

MENGER, Carl. *Grundsätze der Volkswirtschaftslehre*. 1871. Traducción de Marciano Villanueva, presentación de José Luis Oller e introducción de Friedrich A. Hayek. *Principios de Economía Política*. Barcelona: Folio, Biblioteca de Economía, 1996.

MOKYR, Joel. *The Lever of Riches. Technological Creativity and Economic Progress*. Oxford University Press, 1990. Traducción de Esther Gómez Parro. *La palanca de la riqueza. Creatividad tecnológica y progreso económico*. Madrid: Alianza, 1993.

NAPOLEONI, Claudio. "Concurrencia Perfecta". En: _____ (director). *Dizionario di Economia Politica*. Milán: Edizioni di Comunità, 1956. Traducción de José Blasco Martín, Adolfo Iranzo González y Pablo Ortega Rosales. *Diccionario de Economía Política*. 2 tomos. Barcelona: Alfredo Ortells, 1982, Tomo I, pp. 309-327.

_____. "Distribución". En: _____ (director). *Dizionario di Economia Politica*. Milán: Edizioni di Comunità, 1956. Traducción de José Blasco Martín, Adolfo Iranzo González y Pablo Ortega Rosales. *Diccionario de Economía Política*. 2 tomos. Barcelona: Alfredo Ortells, 1982, Tomo II, pp. 569-575.

NAREDO, José Manuel. *La economía en evolución. Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico*. Segunda edición. Madrid: Siglo XXI, 1996.

NICHOLSON, Walter. *Microeconomic Theory. Basic Principles and Extensions*. Fifth edition. Fort Worth: The Dryden Press, 1992.

OLEWILER, Nancy. "Natural Capital, Sustainability and Productivity: An Exploration of the Linkages." *The Review of Economic Performance and Social Progress. Towards a Social Understanding of Productivity*, Vol. 2, November 2002, pp. 117-142. <<http://www.csls.ca/repsp/2/nancyolewiler.pdf>> (June 9, 2005).

PASINETTI, Luigi L. and SCAZZIERI, Roberto. "Capital theory: paradoxes." In: Eatwell, John; Milgate, Murray and Newman, Peter (editors). *The New Palgrave. A Dictionary of Economics*. Volume 1. London, New York and Tokyo: Macmillan, 1987, pp. 363-367.

PEARCE, D. W. *Environmental Economics*. London: Longman, 1976. Traducción de Eduardo L. Suárez. *Economía Ambiental*. México: Fondo de Cultura Económica, 1985.

PEARCE, David W. and TURNER, R. Kerry. *Economics of natural resources and the environment*. 1990. Traducción de Carlos Abad Balboa y Pablo Campos Palacín. *Economía de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente*. Madrid: Celeste-Colegio de Economistas de Madrid, 1995.

PODOLINSKY, Sergei A. "Trud cheloveka i ego otnoshenie k raspredeleniiu energii". *Slovo*, No.4/5, 1880. Traducción de Margarita Estapé. "El trabajo del ser humano y su relación con la distribución de la energía". En: Martínez Alier, Joan (editor). *Los principios de la economía ecológica*. Madrid: Argentario-Visor, Colección Economía y Naturaleza, Serie "Textos Básicos" 1, 1995, pp. 63-142.

POLANYI, Karl. *The Great Transformation*. New York, 1944. Traducción de Julia Varela y Fernando Álvarez-Uría. *La Gran Transformación. Crítica del liberalismo económico*. Madrid: La Piqueta, Colección Genealogía del Poder 17, 1989.

PULLEN, John. *A Linguistic Analysis of the Marginal Productivity Theory of Distribution; or, the use and abuse of the proprietorial "of"*. Working Paper Series in Economics 4. University of New England, February 2001. <<http://www.une.edu.au/febl/EconStud/wps.htm>> (May 20, 2004).

REBELO, Sergio. "Long-Run Policy Analysis and Long-Run Growth." *The Journal of Political Economy*, Vol. 99, No. 3, June 1991, pp. 500-521.

RICARDO, David. *On the Principles of Political Economy and Taxation*. London: Cambridge University Press, 1950. Traducción de Juan Broc B., Nelly Wolff y Julio Estrada M. *Principios de Economía Política y Tributación*. Santafé de Bogotá: Fondo de Cultura Económica, 1993.

ROBBINS, Lionel. *An Essay on the Nature and Significance of Economic Science*. Second edition. London: Macmillan, 1935. Traducción de Daniel Cosío Villegas. *Ensayo sobre la Naturaleza y Significación de la Ciencia Económica*. México: Fondo de Cultura Económica, 1944.

ROBINSON, Joan. *Essays on the Theory of Economic Growth*. London: Macmillan, 1962. Traducción de Rubén C. Pimentel. *Ensayos sobre la teoría del crecimiento económico*. México: Fondo de Cultura Económica, 1965.

_____. *The Accumulation of Capital*. London: Macmillan, 1956. Traducción de Edmundo Flores. *La Acumulación de Capital*. México: Fondo de Cultura Económica, 1960.

_____. "The Production Function and the Theory of Capital." *Review of Economic Studies*, Vol. 21, 1953-1954, pp. 81-106. Traducción de Eduardo L. Suárez. "La función de producción y la teoría del capital". En: Harcourt, G. C. y Laing, N. F. (compiladores). *Capital y crecimiento*. México: Fondo de Cultura Económica, Serie Lecturas del Trimestre Económico 18, 1977, pp. 51-67.

ROMER, Paul M. "The Origins of Endogenous Growth." *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 8, No. 1, Winter 1994, pp. 3-22.

_____. "Endogenous Technological Change." *Journal of Political Economy*, Vol. 98, No. 5, 1990. Traducción de Eduardo L. Suárez. "El cambio tecnológico endógeno". *El Trimestre Económico*, Vol. LVIII, No. 231, julio-septiembre de 1991.

ROSENBERG, Nathan (compilador). *The Economics of Technological Change*. Harmondsworth: Penguin, 1971. Traducción de Eduardo L. Suárez. *La economía del cambio tecnológico*. México: Fondo de Cultura Económica, Serie Lecturas del Trimestre Económico 31, 1979.

RUTTAN, V. "Usher and Schumpeter on invention, innovation and technological change." *Quarterly Journal of Economics*, November 1959, pp. 596-606. Traducción de Eduardo L. Suárez. "Usher y Schumpeter en la invención, la innovación y el cambio tecnológico". En: Rosenberg, Nathan (compilador). *La economía del cambio tecnológico*. México: Fondo de Cultura Económica, Serie Lecturas del Trimestre Económico 31, 1979, pp. 66-77.

RYAN, Christopher K. "Harry Gunnison Brown: An Orthodox Economist and His Contributions." *The American Journal of Economics and Sociology*, Vol. 61, No. 5, December 2002, Supplement, Chapter 2. Online edition. <http://www.findarticles.com/p/articles/mi_m0254/is_5_61/ai_97188176/> (September 23, 2004).

SALA-I-MARTIN, Xavier. *Lecture Notes on Economic Growth*. Second edition. 2000. Traducción de Elsa Vila Artadi. *Apuntes de crecimiento económico*. Segunda edición. Barcelona: Antoni Bosch, 2000.

SAMUELSON, P. A. "Parable and Realism in Capital Theory: The Surrogate Production Function." *Review of Economic Studies*, Vol. 39, 1962, pp. 193-206. Traducción de Eduardo L. Suárez. "Parábola y realismo en la teoría del capital: La función de producción sustituta". En: Harcourt, G. C. y Laing, N. F. (compiladores). *Capital y crecimiento*. México: Fondo de Cultura Económica, Serie Lecturas del Trimestre Económico 18, 1977, pp. 211-230.

SAUNDERS, Harry D. "The Khazzoom-Brookes Postulate and Neoclassical Growth." *Energy Journal*, Vol. 13, Issue 4, 1992, pp. 131-148.

SCHULTZ, Theodore W. "Human Capital." In: Sills, David L. (director). *International Encyclopedia of the Social Sciences*. 11 volumes. New York: Crowell Collier and Macmillan, 1968. Traducción de Julián Martín Merino. "Capital Humano". En: *Enciclopedia Internacional de las Ciencias Sociales*. Madrid: Aguilar, 1974, Volumen 2, pp. 154-161.

SCHUMPETER, Joseph A. *Capitalism, Socialism and Democracy*. 2nd edition. George Allen & Unwin, 1946. Traducción. *Capitalismo, Socialismo y Democracia*. 2 tomos. Barcelona: Folio, Biblioteca de Economía, 1996, Tomo 1.

_____. "The instability of capitalism." *Economic Journal*, 1928, pp. 361-386. Traducción de Eduardo L. Suárez. "La inestabilidad del capitalismo". En: Rosenberg, Nathan (compilador). *Economía del cambio tecnológico*. México: Fondo de Cultura Económica, Serie Lecturas del Trimestre Económico 31, 1979, pp. 13-38.

_____. *Business Cycles. A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. New York: McGraw-Hill, 1964.

_____. *Theorie der Wirtschaftlichen Entwicklung*. Munich: Verlag Dunker & Humboldt, 1912. Traducción de Jesús Prados Arrarte. *Teoría del desenvolvimiento económico. Una investigación sobre ganancias, capital, interés y ciclo económico*. México: Fondo de Cultura Económica, 1957.

_____. "The Analysis of Economic Change." *The Review of Economic Statistics*, Vol. XVII, No. 4, May 1935, pp. 2-10. Versión española dirigida por Víctor L. Urquidi. "Análisis del cambio económico". En: Haberler, Gottfried (compilador). *Ensayos sobre el ciclo económico*. México: Fondo de Cultura Económica, 1946, pp. 15-32.

SMITH, Adam. *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. 1776. Traducción de Gabriel Franco. *Investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones*. Segunda edición. México: Fondo de Cultura Económica, 1958.

SMULDERS, Sjak. "Endogenous growth theory and the environment." In: van den Bergh, Jeroen C. J. M. (editor). *Handbook of Environmental and Resource Economics*. Cheltenham and Northampton: Edward Elgar, 1999, pp. 610-621.

SODDY, Frederick. *Cartesian economics. The bearing of physical science upon state stewardship*. London: Hendersons, 1922. Traducción de Margarita Estapé. "Economía cartesiana: la influencia de la ciencia física en la administración del estado". En: Martínez Alier, Joan (editor). *Los principios de la economía ecológica*. Madrid: Argenteria-Visor, Colección Economía y Naturaleza, Serie "Textos Básicos" 1, 1995, pp. 143-172.

SOLLNER, Fritz. "A reexamination of the role of thermodynamics for environmental economics." *Ecological Economics*, Vol. 22, No. 3, September 1997, pp. 175-201. Traducción de Ramón Alonso Berrío. "Un reexamen del papel de la termodinámica en la economía ambiental". En: *Economía ¿Ecológica?*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 1999, pp. 97-142.

SOLOW, Robert M. "Reply Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz." *Ecological Economics*, Vol. 22, No. 3, September 1997, pp. 267-268. Traducción de Ramón Alonso Berrío. "Réplica Georgescu-Roegen vs. Solow/Stiglitz". En: *Economía ¿Ecológica?*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 1999, pp. 41-43.

_____. "Sustainability: An Economist's Perspective." In: Stavins, Robert N. (editor). *Economics of the Environment. Selected Readings*. Fourth edition. New York: W. W. Norton & Company, 1999b, pp. 131-138.

_____. "The Economics of Resources or the Resources of Economics." *American Economic Review*, Vol. 64, No. 2, May 1974b, pp. 1-14.

SOLOW, R. M. "A Contribution to the Theory of Economic Growth." *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 70, 1956, pp. 65-94. Traducción de Eduardo L. Suárez. "Un modelo de crecimiento". En: Sen, Amartya (comp.). *Economía del crecimiento*. México: Fondo de Cultura Económica, Serie Lecturas del Trimestre Económico 28, 1979, pp. 151-182.

_____. *Growth Theory. An Exposition.* London: Oxford University Press, 1970. Traducción de la segunda edición por José Mendoza. *La Teoría del Crecimiento. Una exposición.* México: Fondo de Cultura Económica, 1976.

_____. "Intergenerational Equity and Exhaustible Resources." *Review of Economic Studies*, Vol. 41, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 1974a, pp. 29-46.

STERN, David I. "Economic Growth and Energy." In: Cleveland, Cutler (editor). *Encyclopedia of Energy*, 6 Volumes. Elsevier, 2004, Volume 2, pp. 1-17. <<http://www.rpi.edu/~sternd/Growth.pdf>> (June 26, 2005).

_____. "Limits to substitution and irreversibility in production and consumption: A neoclassical interpretation of ecological economics." *Ecological Economics*, Vol. 21, No. 3, June 1997, pp. 197-215.

STERN, David I., COMMON, Michael S. and BARBIER, Edward B. "Economic Growth and Environmental Degradation: The Environmental Kuznets Curve and Sustainable Development." *World Development*, Vol. 24, No. 7, 1996, pp. 1151-1160.

STIGLITZ, Joseph E. "Reply Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz." *Ecological Economics*, Vol. 22, No. 3, September 1997, pp. 269-270. Traducción de Ramón Alonso Berrío. "Réplica Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz". En: *Economía ¿Ecológica?*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 1999, pp. 45-46.

STIGLITZ, Joseph. "Growth with Exhaustible Resources: Efficient and Optimal Growth Paths." *Review of Economic Studies*, Vol. 41, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 1974, pp. 123-137.

SWAN, T. W. "Economic Growth and Capital Accumulation." *Economic Record*, Vol. 32, 1956, pp. 341-361. Traducción de extractos de Eduardo L. Suárez. "Notas sobre el capital". En: Harcourt, G. C. y Laing, N. F. (compiladores). *Capital y crecimiento.*

México: Fondo de Cultura Económica, Serie Lecturas del Trimestre Económico 18, 1977, pp. 102-123.

TAHVONEN, Olli. *Economic Sustainability and Scarcity of Natural Resources: A Brief Historical Review*. Discussion paper. Washington: Resources for the Future, June 2000. <<http://www.rff.org/rff/Documents/RFF-IB-00-tahvonen.pdf>> (September 29, 2005).

TAUSSIG, F. W. *Principles of Economics*. Volume II. Third edition revised. New York: Macmillan, 1926, Chapter 46.

VAN DEN BERGH, Jeroen C. J. M. *Materials, Capital, Direct/Indirect Substitution and Mass Balance Production Functions*. Discussion paper. Amsterdam: Vrije Universiteit, 1998. <<http://www.tinbergen.nl/discussionpapers/98065.pdf>> (September 17, 2004).

VARIAN, Hal R. *Intermediate Microeconomics. A Modern Approach*. 4th edition. Traducción de Maria Esther Rabasco y Luis Toharia. *Microeconomía intermedia. Un enfoque actual*. Cuarta edición. Barcelona: Antoni Bosch, 1996.

VEGARA, Josep María. *Ensayos económicos sobre innovación tecnológica*. Madrid: Alianza, 1989.

VICTOR, Peter A. "Indicators of sustainable development: some lessons from capital theory." *Ecological Economics*, Vol. 4, 1991, pp. 191-213.

WALRAS, Léon. *Éléments d'économie politique pure, ou théorie de la richesse sociale*. Cuarta edición. Paris-Lausanne, 1926. Traducción al español de la versión inglesa de *Elements of Pure Economics, or the theory of social wealth* por Julio Segura. *Elementos de Economía Política Pura: o Teoría de la Riqueza Social*. Madrid: Alianza, 1987.

WICKSELL, Knut. *Forelasningar I Nationalekonomi*. Tercera edición. Lund: C. W. K. Gleerups Forlag, 1929. Traducción al español de la versión inglesa de *Lectures on Political Economy* (London: George Routledge & Sons) por Francisco Sánchez Ramos. *Lecciones de Economía Política*. Madrid: Aguilar, 1947.

WICKSTEED, Philip H. *An Essay on the Co-ordination of the Laws of Distribution*. 1894. 1932 edition. London: London School of Economics. 1999 electronic edition. <<http://cepa.newschool.edu/het/wicksteed/wickess.pdf>> (January 18, 2004).

WIESER, Friedrich von. *Der Natürlichen Wert*. 1889. Translated by Christian A. Malloch and edited by William Smart. *Natural Value*. 1893. Electronic edition. <<http://cepa.newschool.edu/het>> (September 11, 2004).

ANEXO 1. FUNCIONES DE PRODUCCIÓN LINEALMENTE HOMOGÉNEAS¹

Una función se dice que es homogénea de grado r si multiplicando cada una de sus variables independientes por una constante j el valor de la función se altera en la proporción j^r , es decir, si

$$f(jx_1, \dots, jx_n) = j^r f(x_1, \dots, x_n) \quad (\text{A1.1})$$

En general, j puede tomar cualquier valor. Sin embargo, para que la ecuación (A1.1) tenga sentido, (jx_1, \dots, jx_n) no debe salirse del dominio de la función f . Por esta razón, en las aplicaciones económicas la constante j se toma normalmente como positiva, puesto que la mayoría de las variables económicas no admiten valores negativos.

Las funciones de producción homogéneas de primer grado se suelen denominar funciones *linealmente homogéneas*² y se utilizan ampliamente en la teoría de la producción debido a sus aprehensibles propiedades matemáticas. En particular, una función g es homogénea de grado uno (o de primer grado) si el producto de cada variable por j altera el valor de la función exactamente en j veces.

$$g(jx, jy, jz) = jg(x, y, z) \quad (\text{A1.2})^3$$

Tanto si se aplica a nivel de la microeconomía o de la macroeconomía, la hipótesis matemática de homogeneidad lineal equivale a la suposición económica de rendimientos constantes a escala, porque la homogeneidad lineal significa que al aumentar todos los

¹ Tomado de Chiang (1987, pp. 418-422 y 424-425).

² Obsérvese que el adverbio "linealmente" modifica al adjetivo "homogénea". Algunos autores prefieren la terminología algo confusa de funciones homogéneas *lineales* o, incluso, funciones *lineales* y *homogéneas*, lo que tiende a transmitir la impresión equivocada de que dichas funciones son lineales. Al respecto, cabe aclarar y enfatizar en que una función que es homogénea de grado uno *no es necesariamente* lineal.

³ Puede demostrarse que la homogeneidad lineal es un caso especial de las funciones de producción homogéneas, en el que $r = 1$.

inputs (variables independientes) j veces se incrementa el *output* (valor de la función) exactamente j veces.

Para conocer las propiedades que caracterizan la función de producción homogénea de primer grado, se adoptará una función de la forma

$$Q=f(K,L) \tag{A1.3}$$

Propiedad 1.

Dada la función de producción linealmente homogénea $Q=f(K,L)$, el producto físico medio del trabajo ($PFMe_L$) y del capital ($PFMe_K$) se pueden expresar como funciones sólo de la relación capital-trabajo, $k=K/L$.

Para demostrarlo, se multiplica cada variable independiente de $Q=f(K,L)$ por el factor $j=1/L$, lo que hace cambiar la producción de Q a $q=jQ=Q/L$ y transformar a f en

$$f\left(\frac{K}{L}, \frac{L}{L}\right) = f\left(\frac{K}{L}, 1\right) = f(k, 1) = \phi(k)$$

Luego, se tiene que

$$PFMe_L \equiv \frac{Q}{L} = q = \phi(k) \tag{A1.4}$$

Para $PFMe_K$, la expresión es

$$PFMe_K \equiv \frac{Q}{K} = \frac{Q}{L} \frac{L}{K} = \frac{q}{k} = \frac{\phi(k)}{k} \tag{A1.5}$$

En vista de que ambos productos medios dependen sólo de k , la homogeneidad lineal significa que si la relación K/L se mantiene constante (cualesquiera que sean los valores absolutos de K y L), los productos medios serán también constantes. En consecuencia,

mientras la función de producción sea homogénea de grado uno, tanto $PFMe_L$ como $PFMe_K$ serán homogéneos de grado cero en las variables K y L , ya que los cambios en igual proporción en dichas variables (conservando una constante k) no alterarán las magnitudes de los productos medios.

Propiedad 2.

Dada la función de producción linealmente homogénea $Q=f(K,L)$, el producto físico marginal del trabajo ($PFMg_L$) y del capital ($PFMg_K$) se pueden expresar como funciones exclusivamente de k .

Para probar esta propiedad, se escribe inicialmente el producto total como

$$Q=L\phi(k) \tag{A1.3}$$

Al diferenciar Q respecto a K , se obtiene que

$$\begin{aligned} PFMg_K &\equiv \frac{\partial Q}{\partial K} = \frac{\partial}{\partial K}[L\phi(k)] \\ &= L \frac{\partial \phi(k)}{\partial K} = L \frac{d\phi(k)}{dk} \frac{\partial k}{\partial K} \\ &= L\phi'(k) \left(\frac{1}{L} \right) = \phi'(k) \end{aligned} \tag{A1.6}$$

Similarmente, al diferenciar Q respecto a L

$$\begin{aligned} PFMg_L &\equiv \frac{\partial Q}{\partial L} = \frac{\partial}{\partial L}[L\phi(k)] \\ &= \phi(k) + L \frac{\partial \phi(k)}{\partial L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \phi(k) + L\phi'(k) \frac{\partial k}{\partial L} \\
&= \phi(k) + L\phi'(k) \frac{-K}{L^2} \\
&= \phi(k) - k\phi'(k) \tag{A1.7}
\end{aligned}$$

lo que efectivamente demuestra que PFMg_K y PFMg_L son funciones sólo de k .

Lo anterior significa que, al igual que los productos medios, los productos marginales permanecerán constantes mientras la relación capital-trabajo se mantenga constante, es decir, son homogéneos de grado cero en las variables K y L .

Propiedad 3. Teorema de Euler

Si $Q=f(K,L)$ es linealmente homogénea, entonces

$$K \frac{\partial Q}{\partial K} + L \frac{\partial Q}{\partial L} \equiv Q \tag{A1.8}^4$$

Demostración:

$$\begin{aligned}
K \frac{\partial Q}{\partial K} + L \frac{\partial Q}{\partial L} &= K\phi'(k) + L[\phi(k) - k\phi'(k)] \\
&= K\phi'(k) + L\phi(k) - K\phi'(k) \\
&= L\phi(k) = Q \tag{A1.9} \quad \text{Q.E.D.}
\end{aligned}$$

⁴ Se advierte al lector que se debe tener cuidado en distinguir entre esta identidad y la diferencial total de Q , $dQ = \frac{\partial Q}{\partial K}dK + \frac{\partial Q}{\partial L}dL$, que se aplica para *cualquier* función $Q=f(K,L)$.

Nótese que este resultado es válido para *cualesquiera* valores de K y L debido a que la propiedad puede escribirse como una identidad. Este resultado se puede extender fácilmente a la forma

$$\sum_{i=1}^n x_i f_i \equiv Q \quad (\text{A1.10})$$

donde las derivadas parciales de la función f (es decir, f_i) son homogéneas de grado cero en las variables x_i .

El teorema de Euler postula que el valor de una función linealmente homogénea puede siempre expresarse como una suma de términos, cada uno de los cuales es el producto de una de las variables independientes y la derivada parcial de primer orden con respecto a esa variable, independientemente de los niveles de los *inputs* en realidad empleados.

Desde el punto de vista económico, esta propiedad significa que en condiciones de rendimientos constantes a escala, si a cada factor se le retribuye por el valor de su producto marginal, el producto final se distribuirá exactamente entre todos los factores en función de su participación o, en otras palabras, el beneficio económico será cero.

Dado que esta situación es descriptiva del equilibrio a largo plazo bajo competencia perfecta, esto hace pensar que sólo las funciones de producción linealmente homogéneas tendrían sentido en economía. Obviamente, no es así. El beneficio económico cero en el equilibrio a largo plazo se alcanza a través de la competencia por medio de la entrada y salida de empresas, con independencia de la naturaleza específica de las funciones de producción que realmente predominan.

Adicionalmente, debe considerarse que cuando existe competencia imperfecta en el mercado de factores, la remuneración de estos puede no coincidir con sus productos marginales y, en consecuencia, el teorema de Euler resulta irrelevante en cuanto a la distribución.

ANEXO 2. LA FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN COBB-DOUGLAS¹

Esta función fue sugerida por Paul H. Douglas al observar que los salarios totales constituyen una participación constante del producto², es decir,

$$WL = \alpha Y \quad (\text{A2.1})$$

Suponiendo que los mercados son perfectamente competitivos, los salarios son iguales al producto marginal del trabajo, $W = \left(\frac{\partial Y}{\partial L}\right)$, y, por tanto, (A2.1) se puede expresar como

$$\frac{\partial Y}{\partial L} = \alpha \frac{Y}{L} \quad (\text{A2.2})$$

Partiendo de este resultado empírico, Charles W. Cobb demostró que la forma de la función de producción subyacente a (A2.2) es

$$Y = AL^\alpha K^{1-\alpha} \quad (\text{A2.3})$$

donde K es el capital fijo, L el trabajo, Q el valor añadido por el trabajo y el capital fijo y A y α son constantes positivas.

K , L e Y son medidas en unidades físicas, en vez de en valores monetarios; de ahí que la consistencia dimensional se logre a través de A , el *parámetro de eficiencia* (o indicador del estado de la tecnología), cuyas unidades y tamaño dependen de aquellas usadas para medir Y , L y K .

¹ En este Anexo se indican las características y propiedades fundamentales de esta función que inducen su empleo frecuente en el análisis económico. Para presentaciones más detalladas, remítase a Cobb y Douglas (1928), Heathfield (1974, cap. 2) y Chiang (1987, pp. 422-424).

² Sin embargo, es de destacar que esta forma funcional –con similar interpretación– había sido propuesta anteriormente por Knut Wicksell en *Lecciones de Economía Política* (1947, pp. 115-116).

Existen otras formas de la función Cobb-Douglas que también satisfacen la condición (A2.2), tales como

$$Y = AL^\alpha K^\beta \tag{A2.4}$$

donde α es la elasticidad parcial del producto con respecto al trabajo y β es la elasticidad parcial del producto con respecto al capital (sin embargo, no se sigue necesariamente de (A2.3) la suposición de que $\beta = 1 - \alpha$). Ésta, que es la forma canónica de la función en cuestión, será la considerada en este Anexo.

Para que las isocuantas tengan pendiente negativa y sean convexas respecto del origen, se debe cumplir el supuesto de rendimientos decrecientes para ambos factores; para ello, tanto α como β deben tener valores entre cero y la unidad.

Elasticidad de sustitución

La función Cobb-Douglas supone que los factores productivos son sustitutivos. Para mostrar esto, se fija Y a algún valor arbitrario, \bar{Y} , obteniéndose

$$\bar{Y} = AL^\alpha K^\beta \tag{A2.5}$$

Diferenciando, se tiene

$$\begin{aligned} 0 &= AK^{(\beta-1)}\beta L^\alpha dK + AK^\beta \alpha L^{(\alpha-1)} dL \\ &= \beta \frac{Y}{K} dK + \alpha \frac{Y}{L} dL \end{aligned}$$

y, por tanto,

$$\frac{dL}{dK} = -\frac{\beta}{\alpha} \cdot \frac{L}{K} \quad \text{o} \quad \frac{\frac{dK}{K}}{\frac{dL}{L}} = -\frac{\alpha}{\beta} \quad (\text{A2.6})$$

Derivando de nuevo respecto a K/L , se tiene que

$$\frac{d \frac{dK}{dL}}{d \frac{K}{L}} = -\frac{\alpha}{\beta} \quad (\text{A2.7})$$

Luego, la elasticidad de sustitución entre el capital y el trabajo es

$$\left(-\frac{\alpha}{\beta}\right) \times \left(-\frac{\beta}{\alpha}\right) = 1 \quad (\text{A2.8})^3$$

En consecuencia, la función de producción Cobb-Douglas tiene una elasticidad de sustitución unitaria constante, lo que significa que una variación del 1% en los precios relativos de los factores dará lugar a un cambio de un 1% en la proporción de factores. Esta propiedad se mantiene independientemente de los valores de las constantes α y β ⁴.

La elasticidad de sustitución unitaria, amén de la productividad marginal decreciente de cada uno de los factores, le confiere a las isocuantas correspondientes a esta función de producción su forma convexa “normal”.

Rendimientos a escala

La producción representada por la función Cobb-Douglas presenta rendimientos constantes a escala. En efecto, (A2.3) implica que

³ La medida de la elasticidad de sustitución utilizada adoptada en este Anexo es la sugerida por Hicks. Ello no excluye que la elasticidad de sustitución de la función de producción Cobb-Douglas sea unitaria al utilizarse otras medidas de elasticidad entre el capital y el trabajo (por ejemplo, la postulada por Allen).

⁴ En tal sentido, y suponiendo que en el largo plazo los factores productivos son sustituibles, la función Cobb-Douglas debe ser usada sólo para definir la relación a largo plazo entre el trabajo y el capital.

$$dY = A\beta K^{(\beta-1)} L^\alpha dK + AK^\beta \alpha L^{(\alpha-1)} dL$$

$$dY = \beta \frac{Y}{K} dK + \alpha \frac{Y}{L} dL \quad (\text{A2.9})$$

Ahora bien, un cambio en la escala de producción conlleva una variación en L en la misma proporción en que varía K , esto es, $\frac{dK}{K} = \frac{dL}{L}$. Por tanto, (A2.9) puede escribirse como

$$dY = \frac{dK}{K} Y(\beta + \alpha)$$

y, por consiguiente,

$$\frac{dY}{Y} = \frac{dK}{K} (\beta + \alpha) \quad (\text{A2.10})$$

De ahí que sea evidente que si $\beta + \alpha = 1$, entonces $\frac{dK}{K} = \frac{dL}{L}$, corroborándose la afirmación inicial⁵.

Teniendo en cuenta estos atributos, puede demostrarse que la forma funcional Cobb-Douglas es la única que se caracteriza por exhibir tanto homogeneidad de primer grado como elasticidad de sustitución unitaria. Para ello, se parte de la expresión de la elasticidad de sustitución cuando la producción presenta rendimientos constantes de escala, a saber:

$$\sigma = \frac{d \ln y}{d \ln f_L}$$

⁵ De manera general, puede decirse que la función Cobb-Douglas es homogénea de grado $\beta + \alpha$. En consecuencia, a esta función se aplican todas las propiedades descritas en el Anexo 1.

donde y es el producto por trabajador y f_L es el producto marginal del trabajo. Dado que la elasticidad de sustitución de la función Cobb-Douglas es unitaria, se tiene que

$$\sigma = \frac{d \ln y}{d \ln f_L} = 1 \quad (\text{A2.11})$$

Luego, integrando (A2.11)

$$\ln y = \ln f_L + a \quad (\text{A2.12})$$

donde a es una constante de integración. Por consiguiente, tomando antilogaritmos

$$y = f_L e^a \quad (\text{A2.13})$$

Por la Propiedad 2, ecuación (A1.7), de las funciones de producción homogéneas lineales,

$f_L = y - k\phi'(k)$; entonces

$$y = (y - k\phi'(k))b \quad (\text{A2.14})$$

donde $b = e^a$. Reagrupando,

$$(b-1)y = b\phi_k k \quad (\text{A2.15})$$

Ahora, como $\phi_k = dy/dk$, la anterior ecuación puede ser reescrita como

$$(b-1)y = bk \left(\frac{dy}{dk} \right)$$

o

$$\left(\frac{1}{y}\right)dy = \left(\frac{(b-1)}{bk}\right)dk \quad (\text{A2.16})$$

que, integrándose, arroja

$$\int \frac{dy}{y} = \int \frac{(b-1)}{bk} dk$$

$$\ln y = \left[\frac{(b-1)}{bk}\right] \ln k + c$$

$$= \ln\left[k^{(b-1)/b}\right] + c \quad (\text{A2.17})$$

donde c es una constante de integración. Tomando antilogaritmos

$$y = e^c k^{(b-1)/b} \quad (\text{A2.18})$$

Haciendo $e^c = A$ y $\left(\frac{(b-1)}{b}\right) = \alpha$, entonces se obtiene

$$y = Ak^\alpha \quad (\text{A2.19})$$

En consecuencia, como $k^\alpha = (K/L)^\alpha = K^\alpha L^{-\alpha}$, se multiplica esta expresión por L y se tiene

$$Y = AK^\alpha L^{1-\alpha} \quad (\text{A2.20})$$

que es una función del tipo Cobb-Douglas. Por lo tanto, la *única* forma que una función de producción homogénea de primer grado y con elasticidad de sustitución unitaria puede tomar es Cobb-Douglas. Esta propiedad es de crucial importancia para los propósitos de este trabajo.

Progreso técnico

Para la función de producción Cobb-Douglas, tanto la neutralidad del progreso técnico en el sentido de Harrod como a las maneras de Solow y Hicks, respectivamente, son algebraicamente equivalentes y empíricamente indistinguibles.

Con el fin de demostrar esto, considérese primeramente el progreso técnico neutral en el sentido de Hicks, el cual corresponde a cambios en el parámetro A . Si se asume que este progreso tiene lugar exponencialmente a una tasa proporcional, la función de producción puede escribirse como

$$Y = Ae^{x_1 t} L^\alpha K^\beta \quad (\text{A2.21})$$

Por su parte, la neutralidad à la Harrod se expresa como un incremento en la eficiencia del trabajo, por lo que la función de producción se escribe como

$$Y = AK^\beta (\hat{L})^\alpha \quad (\text{A2.22})$$

donde $\hat{L} = Le^{x_2 t}$ es el trabajo en términos de “unidades de eficiencia”. Así, reordenando, se tiene

$$Y = Ae^{x_2 \alpha t} K^\beta L^\alpha \quad (\text{A2.22'})$$

que es equivalente al progreso técnico del tipo Hicks (A2.21) si $x_1 = x_2 \alpha$.

Similarmente, para la neutralidad de Solow se tiene

$$Y = A(\hat{K})^\beta L^\alpha \quad (\text{A2.23})$$

donde $\hat{K} = Ke^{x_3 t}$. Por lo tanto,

$$Y = Ae^{x_3 \beta t} K^\beta L^\alpha \quad (\text{A2.23'})$$

que equivale, de nuevo, al progreso técnico de Hicks, donde $x_1 = x_3 \beta$.

Esta correspondencia se debe a la elasticidad de sustitución constante unitaria que caracteriza a la función en cuestión, así como a la propiedad especial según la cual las participaciones relativas del trabajo y el capital en el valor de la producción son las mismas en cualquier momento y para todas las razones de fuerza de trabajo a capital.

Todas estas particularidades de la función Cobb-Douglas han llevado a muchos investigadores a usarla con el fin de hacer representaciones generales de las relaciones de producción agregadas en muchos países.

ANEXO 3. EL MODELO DE CRECIMIENTO NEOCLÁSICO DE SOLOW-SWAN¹

Este modelo de crecimiento económico fue formulado por Solow (1956) y Swan (1956) con el objeto de analizar el comportamiento a largo plazo de una economía representada por una función de producción neoclásica.

En este modelo, se parte de una economía cerrada y sin intervención gubernamental en la que sólo existe un bien, el conjunto de la producción, cuyo volumen de producción se designa por $Y(t)$ y del cual una parte se consume y la otra se ahorra e invierte. La fracción ahorrada de la producción es una constante exógena, s , tal que $0 \leq s \leq 1$, de modo que el volumen de ahorro es $sY(t)$. Este volumen se invierte con el objeto de crear nuevo capital o de reemplazar el viejo y depreciado. Así las cosas,

$$I(t) = sY(t) \tag{A3.1}^2$$

El conjunto de la producción es un bien compuesto que se produce mediante la contribución de dos factores productivos: el trabajo y el capital. De esta manera, la función de producción toma la forma

$$Y(t) = F[K(t), L(t)] \tag{A3.2}$$

Todos los trabajadores poseen las mismas destrezas y trabajan la misma cantidad de tiempo, de modo que el volumen de fuerza de trabajo es homogéneo y está dado por la población total, $L(t)$, que crece a una tasa proporcional constante, $\dot{L}/L = n \geq 0$. Por su

¹ En este anexo sólo se considera la formulación matemática básica del modelo neoclásico de Solow-Swan, tanto en presencia como en ausencia de cambio tecnológico, excluyendo otros aspectos susceptibles de análisis y formalización en vista de su poca relevancia en relación con los objetivos de este trabajo. Para formulaciones más amplias y exhaustivas, refiérase a Solow (1956, 1970), Barro y Sala-i-Martin (2004, ch. 1), Sala-i-Martin (2000, cap. 1) y Branson (1977).

² Considérese que, en una economía cerrada y sin gobierno, el ahorro es igual a la inversión.

parte, el acervo de capital de la sociedad, $K(t)$, asume la forma de una acumulación del bien compuesto y se deprecia a una tasa independiente de las condiciones de la economía, $\delta > 0$; es decir, en cada momento en el tiempo, una fracción constante del acervo de capital se desgasta y, por consiguiente, no puede ser usada para la producción. Luego, la inversión neta es la tasa de incremento del acervo de capital, dK/dt o \dot{K} , y es igual a la inversión bruta menos la depreciación

$$\dot{K} = I(t) - \delta K(t) \quad (\text{A3.3})$$

Reemplazando (A3.1) y (A3.2) en (A3.3), se tiene

$$\dot{K} = sY(t) - \delta K(t) = sF[K(t), L(t)] - \delta K(t) \quad (\text{A3.4})$$

En un principio, se supone que la tecnología es constante. Por lo tanto, en ausencia de progreso tecnológico y con una tasa exógena de crecimiento de la fuerza laboral, la ecuación (A3.4) determina las trayectorias temporales del capital y el producto. La solución de esta ecuación depende crucialmente de las características de la producción y, en particular, de la función que la representa.

En ese sentido, cabe resaltar que Solow (1956; 1970, cap. II) y Swan (1956) postularon que las posibilidades de producción de la economía están sujetas a rendimientos constantes a escala y, por ende, la función de producción es homogénea de grado uno. Asimismo, que la función de producción se caracteriza por rendimientos decrecientes del capital y el trabajo cuando estos se consideran por separado, esto es, los productos marginales de cada uno de dichos factores son positivos ($\partial F/\partial K > 0$, $\partial F/\partial L > 0$) pero decrecientes ($\partial^2 F/\partial K^2 < 0$, $\partial^2 F/\partial L^2 < 0$)³; también, por las condiciones de Inada, que establecen que el producto marginal del capital (trabajo) se aproxima a infinito a medida

³ En realidad, este atributo significa que la función de producción es cóncava, por lo cual precisa que la matriz de segundas derivadas sea definida negativa, constituyendo éste un supuesto más restrictivo que el de que las segundas derivadas parciales con respecto a K y L sean negativas y requiere, adicionalmente, que la derivada cruzada $\partial^2 F/\partial K \partial L$ no sea demasiado grande.

que el capital (trabajo) tiende a cero y, por otra parte, se aproxima a cero a medida que el capital (trabajo) tiende a infinito⁴.

Debido a la propiedad de homogeneidad de grado uno, se puede expresar el producto en su forma intensiva (*per capita*) multiplicando cada variable independiente de $Y = F(K,L)$ por el factor $j = 1/L$. Así,

$$jY = jF(K, L) = F(jK, jL)$$

$$\frac{Y}{L} = F\left(\frac{K}{L}, \frac{L}{L}\right) = F\left(\frac{K}{L}, 1\right) = F(k, 1)$$

$$y = f(k) \tag{A3.5}$$

De este modo, (A3.5) expresa el producto por trabajador, $y \equiv Y/L$, como función del capital por trabajador, $k \equiv K/L$. La productividad marginal del incremento de la razón k es positiva pero decreciente, es decir, $f'(k) > 0$ y $f''(k) < 0$.

Similarmente, si se dividen ambos lados de la ecuación (A3.4) por L , se obtiene

$$\frac{\dot{K}}{L} = sf(k) - \delta k \tag{A3.6}$$

Ésta es una ecuación diferencial ordinaria en términos de K . Para transformarla en una ecuación diferencial ordinaria en términos de k , se toma la derivada de k con respecto al tiempo, de lo que se tiene

$$\dot{k} \equiv \frac{d(K/L)}{dt} = \dot{K}/L - \left(\dot{L}/L\right)k$$

⁴ Matemáticamente,

$$\lim_{K \rightarrow 0} \left(\frac{\partial F}{\partial K}\right) = \lim_{L \rightarrow 0} \left(\frac{\partial F}{\partial L}\right) = \infty \text{ y } \lim_{K \rightarrow \infty} \left(\frac{\partial F}{\partial K}\right) = \lim_{L \rightarrow \infty} \left(\frac{\partial F}{\partial L}\right) = 0$$

$$\dot{k} \equiv \frac{d(K/L)}{dt} = \dot{K}/L - nk \quad (\text{A3.7})$$

Sustituyendo (A3.6) en (A3.7) y reorganizando términos, se obtiene

$$\dot{k} = sf(k) - (n + \delta)k \quad (\text{A3.8})$$

Esta ecuación no lineal es la *ecuación fundamental del modelo de Solow-Swan* y expresa la tasa de crecimiento de k en términos del propio nivel de k . En ella, el término $n + \delta$ del lado derecho de la ecuación puede interpretarse como la tasa de depreciación efectiva de la razón capital-trabajo, k , lo que significa que, si la tasa de ahorro fuese nula, k disminuiría debido a la depreciación del capital y al crecimiento de la fuerza laboral.

Una vez conocida la trayectoria temporal del acervo de capital por persona a lo largo del tiempo, se puede conocer la ruta del producto *per capita* pues, dado que el producto es una función del capital, $y=f(k)$, los cambios en k se reflejan en cambios en y .

Así, cuando $\dot{k} = 0$, la razón capital-trabajo de equilibrio k^* es constante y el producto por hombre también llega a su nivel de equilibrio, $y^*=f(k^*)$. Esta condición implica que la inversión apenas alcanza para cubrir la depreciación del acervo de capital existente y equipar a los trabajadores que se van incorporando a la producción

$$sf(k^*) = (n + \delta)k^* \quad (\text{A3.9})$$

La razón de equilibrio k^* es *única* y *estable* pues, cualquiera que sea el valor inicial de la relación capital-trabajo, la economía tiende hacia una trayectoria de crecimiento balanceado en dicha razón de equilibrio⁵. Ello obedece a que la producción se caracteriza por rendimientos decrecientes del capital.

⁵ Se exceptúa la razón de equilibrio en la que $k=0$, pues en ésta no hay producción ni economía.

En k^* , similarmente, la producción y el capital *per capita* no aumentan, $\dot{k} = \dot{y} = 0$, lo que significa que la economía converge hacia una ruta de crecimiento en la que las variables en niveles se incrementan a la misma tasa que la fuerza de trabajo, $\dot{Y} = \dot{K} = n^6$, siendo n la tasa “natural” de crecimiento de la economía (Solow, 1970, cap. II).

Los cambios en la función de producción, la tasa de ahorro, la tasa de crecimiento poblacional y la tasa de depreciación afectan los valores *per capita* del acervo de capital y el producto, pero no sus tasas de variación en estado estable. Por tal razón, este modelo no dilucida los determinantes del crecimiento a largo plazo del producto por trabajador.

El cambio tecnológico neutral⁷

Adicionalmente, la realidad de las economías industriales modernas revela una tendencia de largo plazo hacia el crecimiento de la intensidad del capital (en el sentido del capital que se emplea por trabajador) y del producto *per capita* que, como se ha mostrado arriba, el modelo sin progreso técnico no puede explicar. En consecuencia, se introduce en el análisis el progreso tecnológico argumentándose que éste podría evitar que los rendimientos decrecientes del capital y el trabajo detengan el crecimiento sostenido del producto *per capita*⁸.

En ese sentido, Solow (1970, cap. II) plantea que la forma particular que debe adoptar el cambio tecnológico para que se garantice la existencia de un estado estable es la

⁶ Algunos economistas denominan *ruta de crecimiento balanceado* al estado en el que todas las variables crecen a una tasa constante y *estado estacionario* o *estable* al caso particular en el que la tasa de crecimiento es cero. Así las cosas, en el modelo de Solow-Swan, el producto y el capital agregado se encuentran en su ruta de crecimiento balanceado cuando $k=k^*$, en tanto que las variables *per capita* están en estado estable.

⁷ En su artículo original, Solow considera el progreso técnico neutral (en el sentido de Hicks). No obstante, posteriormente considera el cambio tecnológico aumentativo del trabajo (neutral en el sentido de Harrod) basado en las demostraciones de Uzawa y Phelps, de acuerdo con las cuales éste es el único tipo de progreso tecnológico consistente con la existencia de una razón capital-trabajo estable de estado estacionario k^* (véanse Solow, 1970, cap. II; Barro y Sala-i-Martin, 2004, p. 53, y Sala-i-Martin, 2000, p. 118). Esta última consideración será la presentada en este Anexo.

Con todo, es importante tener en cuenta que, como se desprende del Anexo 2, para que los resultados obtenidos con ambos tipos de progreso tecnológico coincidan, la función debe ser del tipo Cobb-Douglas.

⁸ Solow (1970, cap. II) también considera el efecto de los rendimientos crecientes a escala utilizando los mismos argumentos que para la introducción del progreso tecnológico. Sin embargo, opta por concentrarse en el análisis de este último por razones teóricas y de relevancia en las economías reales.

umentativa de trabajo. Para tal efecto, considera el progreso de la tecnología definiendo la fuerza de trabajo en unidades *efectivas*, $\hat{L} = A(t)L(t)$, es decir, que incluye no sólo el número de trabajadores sino también su eficiencia.

Este elemento de cambio tecnológico crece a una tasa exógena y constante, λ , lo que significa que dicho mejoramiento ocurre sin necesidad de que la sociedad dedique esfuerzos o recursos para ello. Así, la fuerza de trabajo efectiva crece a la tasa $n + \lambda$ (o sea, la suma del incremento de la fuerza de trabajo y la tasa de progreso tecnológico potenciador del trabajo) y la razón \hat{L}/L crece a la tasa λ (la tasa con que crece a lo largo del tiempo el contenido de eficiencia del trabajo).

El análisis es bastante similar al efectuado para el modelo sin progreso tecnológico, con la diferencia de que todas las razones están expresadas en términos de unidades de trabajo efectivas, $\hat{k} = K/[A(t)L(t)]$, amén del parámetro de cambio en la tecnología. La ecuación diferencial fundamental resultante es:

$$\dot{\hat{k}} = sf(\hat{k}) - (n + \delta + \lambda)\hat{k} \quad (\text{A3.9})$$

El término $n + \delta + \lambda$ representa la tasa de depreciación efectiva de \hat{k} , de modo que, si la tasa de ahorro fuese cero, \hat{k} declinaría debido en parte a la depreciación de K a la tasa δ y en parte al crecimiento de la fuerza de trabajo efectiva a la tasa $n + \lambda$.

Entonces, si $\dot{\hat{k}} = 0$, la razón capital-trabajo de equilibrio \hat{k}^* satisface la condición

$$sf(\hat{k}^*) = (n + \delta)\hat{k}^* \quad (\text{A3.10})$$

En consecuencia, en estado estacionario, \hat{k}^* es constante y estable, resultando afectada en la medida que es mayor que k^* , por lo que se presenta una producción superior en comparación con el modelo sin progreso técnico, lo que significa más ahorro e inversión y, por ende, un aumento de la tasa de crecimiento.

En realidad, la población $L(t)$ está creciendo *sólo* a la tasa n , pero el capital K y el producto Y crecen a la tasa $n + \lambda$; por consiguiente, el capital *por persona* k y el producto *por persona* y no son constantes en estado estacionario, puesto que están creciendo a la tasa de progreso tecnológico λ . De ahí que la razón capital-trabajo nunca alcanza un valor de equilibrio, sino que aumenta sin cesar porque la inversión siempre creciente no se ve correspondida por una aceleración del crecimiento de la fuerza de trabajo⁹.

Al igual que en el análisis previo que ignora el progreso tecnológico, los cambios en la función de producción o la tasa de ahorro afectan los valores *per capita* de largo plazo del acervo de capital y el producto en unidades efectivas (\hat{k}^* e \hat{y}^*), pero no sus tasas de crecimiento de estado estable.

De lo anteriormente expuesto se colige que el modelo neoclásico es compatible con el crecimiento de largo plazo solamente si existe un continuado progreso tecnológico aumentativo del trabajo. Sin embargo, al asumirse que el progreso tecnológico está determinado de manera exógena, no se esclarece la naturaleza del mismo; por consiguiente, el modelo da cuenta de muchas cosas, pero deja la más importante –¡el crecimiento económico!– sin explicar.

⁹ Al respecto, es importante tener en cuenta que, a diferencia de los incrementos en la tasa de ahorro, se asume que las mejoras en la tecnología no tienen límite (recuérdese que $0 \leq s \leq 1$), de modo que la producción puede aumentar continuamente.