

**ENERGIA Y CRECIMIENTO ECONOMICO EN COLOMBIA EN EL SIGLO XX: UN  
ANALISIS DESDE LA ECONOMIA ECOLOGICA**

**JUAN FERNANDO ARANGO SANCHEZ**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS Y ECONOMICAS  
ESCUELA DE ECONOMIA  
MEDELLIN**

**2014**

**ENERGIA Y CRECIMIENTO ECONOMICO EN COLOMBIA EN EL SIGLO XX: UN  
ANALISIS DESDE LA ECONOMIA ECOLOGICA**

**JUAN FERNANDO ARANGO SANCHEZ**

**Trabajo para optar al título de Magister en Ciencias Económicas**

**Director**

**OSCAR GONZALO MANRIQUE DÍAZ**

**Profesor Titular**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS Y ECONOMICAS**

**ESCUELA DE ECONOMIA**

**MEDELLIN**

**2014**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Liliana, por su amor y apoyo incondicional en todos los aspectos.

A mi familia por brindarme el soporte y el amor necesario para emprender este nuevo ciclo de estudios.

Al Profesor Gonzalo Manrique por sus correcciones y por compartir conmigo sus fuentes bibliográficas y el producto de su investigación.

## **RESUMEN**

En este trabajo se realiza un recorrido bibliográfico por las principales Escuelas del Pensamiento Económico para analizar el papel asignado a la energía y los recursos naturales dentro de la noción de crecimiento económico postulada desde cada una de ellas. Posteriormente se estudian en detalle las alternativas metodológicas de integración entre economía y ecología propuestas desde la Economía Ecológica; luego, en la última parte del trabajo, se emplea dicha metodología para analizar la economía colombiana en el siglo xx, como una propuesta alternativa para entender el desempeño económico desde la óptica medio ambiental.

## **ABSTRACT**

In this paper a bibliographic tour is done by leading Schools of Economic Thought to analyze the role assigned to energy and natural resources within the notion of economic growth nominated from each of them. Later studied in detail the methodological alternatives integration between economy and ecology proposals from ecological economics; then in the last part of the work, this methodology is used to analyze the Colombian economy in the twentieth century as an alternative approach to understanding economic performance from an environmental perspective.

## **PALABRAS CLAVE**

Energía, recursos naturales, factores productivos, indicadores monetarios, indicadores biofísicos.

## **KEYWORDS**

Energy, natural resources, production factors, monetary indicators, biophysical indicators.

## ABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	i
1. EL CRECIMIENTO ECONÓMICO EN LA ESCUELA CLASICA Y NEOCLASICA.....	1
1.1 Los orígenes: La construcción de la economía desde la Escuela Clásica y la relación de ésta con la naturaleza.....	2
1.2 El papel de la naturaleza y la energía en la visión económica neoclásica .....	16
2. EL CRECIMIENTO ECONOMICO VISTO DESDE LA ECONOMIA ECOLOGICA.....	30
2.1 Los orígenes: Desde los Fisiócratas hasta Nicholas Georgescu-Roegen .....	31
Cuadro 1. CRÍTICAS Y APORTES PROVENIENTES DE FUERA DE LA DISCIPLINA ECONÓMICA .....	38
2.2. Propuestas teóricas y metodológicas para incorporar la energía y los recursos naturales al análisis económico .....	43
2.3 Indicadores alternativos para complementar aquellos propuestos desde la economía estándar ..	56
3 EL CRECIMIENTO ECONOMICO EN COLOMBIA DURANTE EL SIGLO XX.....	64
3.1. El análisis de la economía colombiana en el Siglo XX desde una perspectiva económica tradicional .....	65
3.2. Indicadores sociales complementarios al análisis económico.....	78
3.3 Los Indicadores propuestos desde la economía ecológica y sus cifras para Colombia .....	82
CONCLUSIONES.....	97
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	100

## TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Suministro energético de la economía .....	54
Ilustración 2. Crecimiento económico de Colombia – 1905-2000 (% anual).....	66
Ilustración 3. Indicadores macroeconómicos, 1928-1945 .....	67
Ilustración 4. Ritmos de crecimiento y cambios en la composición del producto interno bruto, 1929-1945 (precios de 1950) .....	68
Ilustración 5. Crecimiento del PIB, el producto por trabajador, el capital físico, humano y la productividad, Colombia. 1960-1985 (%) .....	73
Ilustración 6. Colombia, principales agregados macroeconómicos 1970-1995. (Millones de pesos) .....	74
Ilustración 7. Participación porcentual de algunos productos en el total de las exportaciones colombianas (1975-1995) .....	75
Ilustración 8. Composición sectorial del PIB 1970-1995 (%).....	75
Ilustración 9. Colombia. Tasas de desempleo 1985-2000 (siete áreas metropolitanas).....	76
Ilustración 10. Tendencias del Índice de Desarrollo Humano, 1990-2010. Colombia.....	80
Ilustración 11. Coeficiente de Gini para Colombia, 1980-2010. ....	81
Ilustración 12. Reservas de Petróleo y Gas en Colombia, 1990-2011 .....	86
Ilustración 13. Colombia, Especies en peligro, 2013 .....	88
Ilustración 14. Colombia, PIB por unidad de uso de energía.1990-2011 .....	90
Ilustración 15. Consumo energético colombiano por fuente (%), 1990-2011.....	90
Ilustración 16. Colombia: Consumo de energía procedente de combustibles fósiles, 1971-2011 (% del total).....	91
Ilustración 17. Colombia: Emisiones de CO <sub>2</sub> , 1960-2010 (Miles de toneladas).....	92
Ilustración 18. Colombia: Emisiones de metano (Kt equivalentes de CO <sub>2</sub> ), 1990-2010 .....	93
Ilustración 19. Huella Ecológica 2006 (Hectáreas globales per cápita) .....	94

## INTRODUCCION

Desde las principales Escuelas del Pensamiento Económico<sup>1</sup> se ha planteado la posibilidad de conseguir un crecimiento económico sostenible en el tiempo soportado básicamente en tres factores: Capital, Trabajo y Avance técnico. La forma continua de las funciones de producción neoclásicas permite que, a través de una combinación de los tres factores mencionados, una economía pueda crecer indefinidamente; no obstante, el estudio económico sólo ha abordado de manera parcial el papel de los recursos naturales y energéticos dentro del proceso económico, los cuales, al ser en muchos casos finitos, representan una talanquera para dicho crecimiento económico, debido a lo planteado en la Segunda Ley de la Termodinámica, o Ley de La Entropía, que, a grandes rasgos, afirma que la energía y los materiales disponibles para las actividades humanas, se disipan incesantemente.

Es precisamente este hecho el que motivó el surgimiento de alternativas al análisis económico clásico y neoclásico basado en las funciones de producción de tres factores; en este trabajo se analizarán los principales planteamientos de la Economía Ecológica, ya que en estos se propone vincular el análisis económico al estudio de los aspectos físicos y ambientales que, indefectiblemente, interactúan de manera directa con las actividades económicas, como subsistemas pertenecientes a la biosfera que los contiene.

Debido a esta interacción, resulta necesario complementar el estudio económico, expresado en unidades monetarias, con investigaciones interdisciplinarias que planteen indicadores físicos, energéticos y ambientales que permitan evaluar el desempeño de una economía articulándola al medio físico en el que ésta opera, escapando de esta

---

<sup>1</sup> Entre las que se cuentan La Clásica, La Neoclásica, La Marxista y La Keynesiana. En este trabajo se analizarán únicamente los planteamientos clásicos y neoclásicos.

manera a la metodología clásica y neoclásica de reducir el análisis a términos pecuniarios.

Con el fin de abordar tal tarea, se revisarán inicialmente las principales obras clásicas y neoclásicas con el objetivo de comprender cuál era el papel que en ellas desempeñaban los recursos naturales y la energía, y cómo influían éstos en el crecimiento económico; posteriormente se analizarán las propuestas que buscaban vincular directamente a la economía con la naturaleza, más precisamente las de la Escuela Fisiocrática y la Economía Ecológica, con el fin de evidenciar las diferencias de fondo entre uno y otro enfoque en lo que a la interacción Economía-Naturaleza se refiere. El estudio de la Economía Ecológica se divide en dos partes: en la primera se abordan las obras de los principales autores desde mediados del Siglo XIX hasta la década del setenta del Siglo XX, y en la segunda se estudian las obras de autores posteriores.

Después de revisar el estado del arte en ambas corrientes de pensamiento<sup>2</sup>, se procede en la última parte del trabajo a construir evaluaciones paralelas desde ambos enfoques de la economía colombiana del Siglo XX, con el fin de demostrar que el análisis meramente económico omite aspectos claves como el agotamiento de los recursos naturales y energéticos y el impacto ambiental de las actividades económicas.

Además de las obras de los principales autores de cada Escuela de Pensamiento, se consultaron las bases de datos de diversos Organismos internacionales con el propósito de construir los indicadores propuestos por la Economía Ecológica en el último capítulo dedicado a Colombia. Es necesario aclarar que, debido a la reciente implementación de algunos de estos indicadores, no fue posible acceder a estadísticas anteriores a 1950, limitación que no se presentó en lo que a los indicadores económicos se refiere.

---

<sup>2</sup> Las corrientes se diferencian fundamentalmente en su visión de la economía con respecto al mundo natural: en la primera, representada por el clasicismo y el neoclasicismo, se entiende a la economía como un sistema autosuficiente y aislado del entorno natural; mientras que en la segunda, asociada en este trabajo con las Escuelas Fisiocrática y, sobre todo, con la Economía Ecológica, la economía es un subsistema más de la biosfera, que recibe energía y materiales del entorno, y le devuelve a éste productos, desechos y polución.

Este trabajo está compuesto por tres capítulos, el primero está dividido en dos secciones: en la primera se estudia el proceso de construcción teórica de la Escuela Clásica y la relación que al interior de ésta existe entre Economía y Naturaleza; en la segunda sección se analiza el papel desempeñado por la Naturaleza y la energía en las doctrinas económicas neoclásicas.

El segundo capítulo se ocupa de estudiar las propuestas de la Economía Ecológica y se encuentra conformado por tres secciones: la primera abarca el estudio desde los fisiócratas hasta Nicholas Georgescu-Roegen; la segunda analiza los aportes de los autores posteriores; y en la tercera se plantean los principales indicadores propuestos para complementar el análisis económico convencional.

En el capítulo tercero se analiza la economía colombiana del Siglo XX desde las dos perspectivas estudiadas a lo largo del trabajo; en la primera sección se realiza una evaluación *grosso modo*<sup>3</sup> de la economía colombiana desde el enfoque económico tradicional; en la segunda sección se revisan los datos provenientes de indicadores sociales con el fin de ampliar las conclusiones en términos económicos obtenidas en la primera; por último, en la tercera sección se construyen algunos indicadores en términos físicos y energéticos para el caso de Colombia, con el objeto de demostrar que aspectos tan relevantes como el nivel de reservas de recursos naturales, la eficiencia energética, la pérdida de biodiversidad y las emisiones de gases de efecto invernadero, entre otros, son dejados de lado por el análisis económico neoclásico.

Posteriormente finaliza con algunas conclusiones relacionadas tanto con la necesidad de incorporar el análisis biofísico a la teoría económica, como con la evaluación del desempeño económico colombiano desde un enfoque que integra Economía y Naturaleza.

---

<sup>3</sup> Esto debido a que existen numerosas fuentes de consulta a la hora de estudiar la economía colombiana desde una perspectiva convencional y porque no constituye el objeto central de esta Tesis.

## 1. EL CRECIMIENTO ECONÓMICO EN LA ESCUELA CLASICA Y NEOCLASICA.

La especie humana es única en el planeta en lo que respecta a su proporción de consumo endosomático y exosomático de energía, ya que a medida que las sociedades avanzan, este último aumenta su proporción en el total, y éste es un hecho que resulta determinante debido al creciente impacto que ocasiona sobre los ecosistemas. Las actividades económicas están determinadas por estos consumos, por lo que resulta imperativo que el estudio económico incorpore el análisis de los flujos energéticos.

La energía endosomática es aquella que cada organismo requiere para su mantenimiento y el desarrollo de sus actividades básicas (alimentación, reparación de tejidos, reproducción, etc.) y su consumo ha variado muy poco a lo largo de la evolución humana, se estima que en la actualidad representa cerca del 7.5% del total de la energía consumida<sup>4</sup>.

Por otro lado, la energía exosomática es la energía generada fuera del organismo humano y que se utiliza para realizar diferentes actividades como la preparación de alimentos, el transporte, la generación de calor, la fabricación de mercancías entre muchas otras.

Para obtenerla el hombre ha recurrido históricamente a diversas fuentes: los animales, el viento, el agua y luego a los combustibles fósiles acumulados en la tierra, por ello su impacto sobre el medio ambiente es significativamente mayor al del primer tipo de energía, debido a que depende de la explotación de reservas finitas que tardan millones de años en recuperarse y su utilización genera residuos tales como los gases

---

<sup>4</sup>Qué es la energía endosomática. (S.F.). Recuperado el 29 de octubre de 2013 de <http://www.ecologismo.com/glosario-ambiental/que-es-la-energia-endosomatica/>

de efecto invernadero. Esto es básicamente lo que diferencia los patrones de consumo energético de los seres humanos respecto a las demás especies vivas del planeta<sup>5</sup>.

En esta primera parte se analizará cómo la escuela clásica, considerada como la fundadora del pensamiento económico moderno abordó este tema y su importancia para el sistema económico; es necesario advertir que desde antes del surgimiento de dicha escuela, diversos autores se habían ocupado de este asunto, aunque no de forma sistemática.

En esta sección se revisarán en particular los aportes de autores “Preclásicos” como William Petty y John Locke, quienes estudiaron el papel de la naturaleza en el proceso económico un siglo antes de que apareciera Adam Smith (a quien se le considera el fundador de la escuela clásica) y se resaltarán las principales diferencias entre aquellos y ésta en lo que respecta al papel de la naturaleza en las actividades económicas y la manera de abordarla dentro del análisis económico.

Posteriormente se analizarán con mayor detalle los planteamientos teóricos de los autores clásicos en lo que se refiere a la interacción del sistema económico con el entorno físico y la manera como incorporaron a este último en su concepción de la formación de riqueza.

## **1.1 Los orígenes: La construcción de la economía desde la Escuela Clásica y la relación de ésta con la naturaleza.**

La visión del mundo que antecedió a los desarrollos científicos del siglo XVIII tenía un claro carácter animista, el planeta se concebía como una gran entidad biológica y cada uno de sus componentes ( animales, plantas, minerales, etc.) eran considerados como

---

<sup>5</sup> Qué es la energía exosomática. (S.F.). Recuperado el 29 de octubre de 2013 de <http://www.ecologismo.com/general/que-es-la-energia-exosomatica/>

entidades con vida propia (Naredo, 1987, p.30); es así como el matemático, físico y astrónomo Italiano Gerolamo Cardano planteaba en 1556: “*las materias metálicas son a las montañas no otra cosa que los árboles, con raíces, tronco, ramas y hojas(...)* ¿*qué otra cosa puede ser una mina más que una planta cubierta de tierra?*” (Citado por Naredo, 1987, p.30). El químico y biólogo francés Bernard Palissy afirmaba en 1563 que: “*Lo mismo que en el exterior de la tierra, se trabaja para engendrar algo; igualmente, en el interior, la matriz de la tierra trabaja también para producir*” (Citado por Naredo, 1987, p.30).

Para comienzos del siglo XVIII esta concepción del mundo ya empezaba a cambiar, los aportes de la ciencia moderna estaban modificando gradualmente la vida en las principales sociedades (sobre todo en Europa), esto se debía básicamente a las obras de científicos como Isaac Newton, Rene Descartes, Thomas Hobbes y Galileo Galilei entre otros; el edificio científico se cimentaba en ese entonces en las cuatro reglas básicas planteadas por René Descartes (1596-1650) en su *Discurso del Método* (1637), las que a grandes rasgos planteaban lo siguiente:

Considerar por verdad, sólo aquello que tras un análisis sin precipitud, ansiedad, ni prevención, se revele de una manera “clara y distinta” sin ninguna sombra de duda; dividir cada problema en cuantas partes sea posible, resolviendo posteriormente cada una de dichas partes; jerarquizar el pensamiento abordando el análisis desde los fenómenos más simples hasta aquellos que comprenden mayor complejidad; y llevar una enumeración detallada y completa durante todo el proceso con el objeto de no pasar por alto ninguna de sus partes (Naredo, 1987,p.219).

Thomas Hobbes (1588-1679), planteaba en su obra de 1651 *El Leviatán*, que el hombre buscaba asociarse con sus congéneres para combatir la miseria y el peligro, lo que daba forma a la organización social y estatal; la existencia , agregaba el autor, radicaba en la búsqueda de la felicidad que no era otra cosa que atraer el placer y alejar el dolor (lo que más adelante se conocería en la economía como la utilidad), pero ésta se derivaba indefectiblemente del poder y su búsqueda por parte de los individuos, llevaba inevitablemente al conflicto (Naredo,1987,p.68).

Para Hobbes resultaba necesaria la existencia de un órgano que sometiera a cada individuo y lo obligara a cumplir las normas que le permitieran vivir en sociedad, y ese algo fue bautizado por él como El *Leviatán*, el cual encontraba su representación más idónea en la Monarquía, mediante el sometimiento a este órgano, los individuos tendrían garantizada la paz y la seguridad, ya que éste lo controlaría todo. Es notable el carácter mecanicista de este órgano, dado que la unión de muchos cuerpos individuales en movimiento creaba una superestructura que los contenía.

En el artículo de J.J Rousseau (1712-1778) titulado: "*Economía Política*", el Estado se describía como un símil del cuerpo humano, donde el poder soberano era la cabeza, las leyes, el cerebro o sede del entendimiento, los jueces y magistrados los órganos; el comercio, la agricultura y la industria equivalían a la boca y el estómago; las finanzas públicas eran la sangre. En esta representación la economía, al igual que el corazón, cumplía la función de transportar dicha "sangre" por todo el cuerpo, llevando la nutrición y la vida. Siguiendo el mismo razonamiento de Hobbes, Rousseau describía a los ciudadanos como los miembros que hacían vivir, mover y trabajar a la máquina (Naredo, 1987, p.68).

Esta nueva conformación de la sociedad, difería sustancialmente de aquella que se había establecido hasta ese momento, en la cual Dios como Creador de la vida le proporcionaba a los seres humanos todo lo necesario para su subsistencia; en este nuevo esquema social el hombre interpretaba un papel más activo, ya que ahora no se limitaba simplemente a tomar los bienes que la naturaleza le ofrecía gratuitamente, sino que a través de su esfuerzo físico y el desarrollo de nuevas técnicas, comenzó a transformar las materias primas y a aprovechar las fuentes energéticas (orgánicas e inorgánicas) para su beneficio.

Siguiendo con Naredo (1987), el conocimiento fue dividido así en tres bloques principales: la separación entre lo vivo y lo inerte (Historia Natural), entre el hombre y los demás seres vivos (en función de la razón), y entre éste y el planeta Tierra que

paso a ser sometido a la voluntad de aquél. No obstante, la economía se ocuparía sólo del estudio de la interacción entre los hombres, dejando de lado su relación con los otros seres vivos y con el planeta; con lo que quizás se perdió una oportunidad de articular tempranamente a las actividades económicas con los flujos materiales y energéticos.

Estas modificaciones en la estructura social generaron a su vez profundos cambios en las relaciones económicas entre los individuos y en las de éstos con el Estado, los asuntos económicos comenzaron así a emanciparse de las normas religiosas y éticas que los habían regido hasta la época (Heilbroner, 1968, p.39).

Pero éste no era un fenómeno nuevo, ya que desde mediados del siglo XVI, durante el reinado de Isabel I en Inglaterra, la lana era un artículo muypreciado, y por toda la isla había comenzado un proceso de apropiación de los *manor* (unidad de tierra en la que el señor de cada castillo tiene un área de producción de compra y venta de semillas)<sup>6</sup>, por parte de los señores feudales, con el fin de dedicarlas al pastoreo de ovejas; así que lo que antes eran tierras comunales aprovechadas por los campesinos libremente, pasaron a ser propiedad privada (uno de los pilares fundamentales del sistema económico capitalista).

Es así como lo expresaba un habitante de la región en el año 1549: “... *en unas tierras en las que se ganaban la vida cuarenta personas, vive ahora un solo hombre con su rebaño... Sí, son estas ovejas las causantes de tanta desgracia, porque ellas han ahuyentado de los campos a los labradores, encareciendo con esto los alimentos, y no dejándonos otra cosa que ovejas y más ovejas*”. (Citado por Heilbroner, 1968, p.41).

---

<sup>6</sup> Este proceso fue conocido como el movimiento de “cercamientos” (<http://www.claseshistoria.com/revolucionindustrial/revolucionagricolaenclosures.htm>)

Estos eventos, junto a algunos otros de carácter económico y demográfico<sup>7</sup> contribuyeron a establecer nuevas relaciones sociales que darían origen a los agentes económicos característicos de la sociedad capitalista: los siervos se vieron obligados a abandonar las tierras de sus señores para ofrecer su fuerza de trabajo en los campos y en los nacientes centros industriales, allí también se aglomeraron los antiguos maestros artesanos con sus talleres con el objeto de satisfacer la creciente demanda de mercancías de los nuevos ciudadanos; lo que dio nacimiento a dos clases sociales propias del sistema capitalista: la Burguesía y el Proletariado (Heilbroner, 1968, p.39).

El Burgués estaba impulsado principalmente por el afán de lucro y para ello dependía de la propiedad privada, la cual era adquirida mediante el trabajo y que era deber del Estado proteger; esto representó una ruptura definitiva con el mundo medieval, el individuo pasó a ser el agente dinamizador de las actividades económicas e industriales y se comenzó a observar una decadencia del intervencionismo Estatal en las mismas; además de que la creciente competencia iba detrimento de las estructuras monopólicas. Como veremos más adelante con Adam Smith, este individualismo se convertiría en la base metodológica de la corriente económica dominante (Roll, 1994, pp, 86-87.).

A principios del siglo XVIII existían ya en Inglaterra varias industrias en franco crecimiento: minería, sal, cobre, bronce, artillería, etc.; que funcionaban bajo un incipiente régimen fabril y utilizaban cada vez más intensivamente la fuerza del viento y del agua; la producción pasó así a ocupar el lugar del comercio como principal fuente de riqueza (Roll, 1994, p, 88). Estos primeros brotes de industrialización bien podrían considerarse como los gérmenes de la Revolución Industrial que se presentó más tarde a finales del mismo siglo.

Fue en este contexto donde comenzó a construirse el marco teórico que luego daría forma a la disciplina económica (con la escuela clásica como su principal exponente en

---

<sup>7</sup> Como el creciente comercio de las potencias europeas con sus colonias alrededor del mundo y la progresiva especialización de la población urbana en labores industriales que originó una creciente dependencia de los campesinos productores de alimentos.

un comienzo), la cual tendría como objetivo principal extrapolar los métodos científicos empleados por las ciencias naturales<sup>8</sup>, al campo de las actividades económicas; para ello era menester aislar dicho sistema económico del resto de subsistemas en que ahora se hallaba segmentado el conocimiento tal como lo planteaba el método cartesiano.

Uno de los predecesores de la escuela clásica fue William Petty (1623-1687), sus estudios se centraron principalmente en el análisis del proceso productivo en lugar del ciclo comercial, ya que de acuerdo al contexto de crecimiento industrial en que vivió, ahora se consideraba que la riqueza provenía principalmente de la producción y no del comercio tal como se afirmaba desde la doctrina Mercantilista (Roll, 1994, p.62). Su principal obra fue *A Treatise of Taxes and Contributions*, escrita en 1662, en ella afirmaba que “*el Trabajo es el padre y el principio activo de la riqueza, y las Tierras son la madre*” (citado por Roll, 1994, p.97). Se puede inferir de esta afirmación que por lo menos para los economistas preclásicos la naturaleza formaba parte activa en la composición de la riqueza<sup>9</sup>.

En su *Treatise*, Petty enunció la teoría de la renta diferencial ciento cincuenta años antes que David Ricardo, aunque bajo un enfoque diferente (Roll, 1994, p.99), determinó el valor de uso de las mercancías con base en la tierra y el trabajo incorporados en éstas; aunque para determinar el valor de cambio sólo consideró al trabajo incorporado en las mercancías, dejando de lado la tierra. No obstante resulta evidente la importancia de la naturaleza (entendida en su obra como la tierra) en su análisis económico.

Prueba de ello es su intento por determinar el precio de la tierra, para él éste dependía de los ingresos que las personas esperaban obtener de ella y del número de años que proyectaban beneficiarse de dichos ingresos, tomó en cuenta un periodo de tiempo que abarcaba tres generaciones (algo que no se estilaba en la economía actual); además

---

<sup>8</sup> Sobre todo la de la rama más destacada de la Física en esa época: La Mecánica

<sup>9</sup> En esto coincidía con los Fisiócratas, que serán abordados en el capítulo II de este trabajo.

afirmó que el tipo de interés estaba determinado por la renta de la tierra (Roll, 1994 p.101).

John Locke (1632-1704) se anticipó a los Fisiócratas al afirmar que la tierra era la única generadora de un excedente (o producto neto como lo denominaban aquellos) e investigó la manera en la que el dinero (considerado como estéril) podría tener el carácter creador de riqueza que poseía la tierra, también justificaba la existencia de la propiedad privada en el hecho de que en ella confluían el trabajo del hombre y los dones de la naturaleza<sup>10</sup>.

Para estos autores la naturaleza era, junto al trabajo, uno de los factores determinantes en la formación de riqueza, prueba de ello es que, para éstos, la tasa de interés estaba determinada por la renta de la tierra; Petty afirmaba que el tipo de interés equivalía a “(la) *renta de tanta tierra como pueda adquirirse con el dinero prestado*” (citado por Roll, p,101); esto permite concluir que para aquella época el estudio económico aún estaba estrechamente ligado a la comprensión del papel que desempeñaba la naturaleza en las actividades económicas.

Se puede deducir con base en esta mirada global a los predecesores de la escuela clásica, que los iniciadores de ésta no partieron de la nada, debido a que existía ya una base teórica consistente en diversos aportes sobre temas clave como la renta, el valor de uso, el valor de cambio, la generación de riqueza y las tasas de interés que de cierta manera allanó el camino para el desarrollo de la economía como disciplina.

Pasando al análisis de los postulados de la economía clásica, se puede afirmar sin temor a equivocación, que Adam Smith es uno de los precursores de la economía moderna, su obra *Investigación sobre la Naturaleza y Causa de la Riqueza de las Naciones* publicada en 1776 es considerada como el texto fundacional de la disciplina; por lo tanto resulta importante enmarcarla en el contexto en el cual fue escrita.

---

<sup>10</sup> Para un análisis detallado de los principales autores preclásicos consultar el capítulo III de la obra de Eric Roll: “*Historia de las doctrinas económicas*”

En ese mismo año, los Estados Unidos de Norte América lograron su independencia de Inglaterra, con lo que el Imperio Británico perdió a una de sus más importantes colonias alrededor del mundo, las cuales representaban la base para el funcionamiento del sistema mercantilista entrado ya en decadencia.

Para la época de la publicación del libro de Smith, el Ingeniero escocés James Watt (1736-1819) se encontraba perfeccionando la máquina de vapor de Newcomen con el fin de hacerla energéticamente más eficiente<sup>11</sup>, esto significó un enorme impulso no solo para la minería, sino también para la industria, ya que gracias a ésta, ahora era posible aplicar mucha más energía a los procesos productivos, lo que permitiría incrementar el número y la variedad de mercancías, este hecho posteriormente contribuyó a cambiar para siempre los patrones de producción y consumo (material y energético) de las sociedades humanas (Hall y Klitgaard, 2012, pp.13-14).

Así, la industria fue tomando poco a poco el papel de actividad generadora de riquezas que antes se le otorgó sucesivamente a la agricultura y al comercio, y la naturaleza, que antes era vista como la única generadora de riqueza (para los Fisiócratas), pasó a ser solamente un factor más en el proceso productivo, que gracias a la ciencia y la técnica se podría explotar eficientemente para satisfacer nuestras necesidades; de esa manera el antiguo binomio generador de riqueza: Cielo-Tierra (mediante el cual, Dios dotaba a la naturaleza de los recursos necesarios para la vida y el hombre sólo se ocupaba de transformarlos en función de sus necesidades), fue reemplazado por el de Capital-Trabajo (Naredo, 1987).

Al mismo tiempo por todo el continente europeo los ideales de la Ilustración lograban cada vez mayor aceptación, primero en las clases privilegiadas que tenían mayor acceso a la educación y luego en las capas más bajas de la población, hasta que

---

<sup>11</sup> La máquina de Newcomen gastaba el 75% de la energía del vapor para calentar el pistón y el cilindro, en 1766 Watt desarrolló una cámara de condensación separada que ayudó a incrementar la eficiencia, más tarde patentó la máquina de doble efecto, el regulador de la fuerza centrífuga y el paralelogramo articulado (<http://www.biografiasyvidas.com/biografia/w/watt.htm>)

consiguieron socavar en gran medida los valores remanentes de la sociedad medieval, tal proceso encontró su cúspide en el año de 1789 con la Revolución Francesa.

El avance de la Ilustración y el declive de antiguos regímenes autoritarios<sup>12</sup> estaban colocando al individuo en el lugar central de la sociedad, la iniciativa individual pasó a desempeñar el rol dinamizador del progreso social; mientras que en épocas anteriores los hijos heredaban su oficio directamente de sus padres y la propiedad estaba determinada por el linaje, los nuevos avances técnicos y el acceso de cada vez más personas a la educación le proporcionaban ahora a los individuos mayores posibilidades de movilidad social. ¿Pero que se planteaba desde la economía al respecto?

Para Adam Smith la conducta humana estaba determinada por seis motivaciones principales: el egoísmo, la conmiseración, el deseo de ser libre, el sentido de la propiedad, el hábito del trabajo y la tendencia al intercambio; además sostenía que existía un orden natural superior a cualquier orden artificial diseñado por el hombre el cual guiaba a la sociedad hacia un incremento constante del bienestar (Roll, 1994, p.135), este mecanismo se conocería más adelante como “la mano invisible”.

Fue él quien contribuyó a colocar al individuo en un lugar central de la disciplina económica. En efecto, Smith explicó los fenómenos económicos a través de dos leyes básicas del sistema de mercado: el egoísmo individual y la competencia, estas dos leyes conducirían (según su razonamiento) al bienestar social, ya que el afán de cada individuo por conseguir riquezas, lo llevaría al mejoramiento continuo del producto de su trabajo, lo que a fin de cuentas redundaría en un beneficio para la sociedad gracias a una oferta más competitiva de bienes y servicios.

Afirmaba que, en un entorno de creciente competencia, si un productor se aprovechaba de una excesiva demanda por su producto para cobrar un precio por encima del precio

---

<sup>12</sup> La caída de la Monarquía Francesa y la ejecución de varios de sus miembros en la guillotina es un caso icónico en este sentido

natural<sup>13</sup>, la libre entrada de nuevos productores al mercado haría que éstos, motivados por los elevados beneficios, dedicasen sus esfuerzos a la producción de dicho bien; este aumento de la oferta haría descender nuevamente los precios al nivel de equilibrio.

La competencia y el egoísmo individual también derivarían en la división del trabajo y en una posterior especialización, que como lo demostró en su clásico ejemplo de la fábrica de alfileres, elevarían la productividad y además permitirían que incluso el hombre más humilde, estuviera en capacidad de abastecerse de todos los bienes que necesitaba.

Adam Smith incorporó en su obra el concepto de proceso económico que ya los fisiócratas habían planteado dos décadas antes con el “Tableau économique” de Francois Quesnay, esto contribuyó a poner orden al estado disperso y poco sistemático que caracterizaba a los escritos económicos hasta entonces.

Pero a diferencia de los fisiócratas, que sostenían que la naturaleza era la única capaz de generar un producto neto, éste argumentaba que el trabajo era el verdadero generador de riqueza, prueba irrefutable de ello se encuentra en el primer párrafo de su citada obra, en donde afirmaba que: *“El trabajo anual de cada nación es el fondo que la surte originalmente de todas aquellas cosas necesarias y útiles para la vida que se consumen anualmente en ella”* (citado por Naredo, 1987, p.92).

Fue así como el trabajo pasó a ser la principal fuente de valor en la economía y el precio de un bien se empezó a medir en unidades de trabajo. Mientras que en la etapa pre-clásica se hablaba de una combinación de tierra y trabajo como generadora de valor y riqueza, con Smith el énfasis se trasladó hacia la interacción entre trabajo y capital.

---

<sup>13</sup> El cual está compuesto por: Salarios, utilidad del capital y renta de la tierra.

No obstante, sólo aquel trabajo capaz de generar un excedente sobre el capital invertido (trabajo económico) era objeto de análisis, con lo que quedaban excluidas del estudio económico aquellas actividades que demandaban esfuerzo físico y consumo energético, pero que no producían un excedente en términos monetarios (las labores domésticas por ejemplo); de igual manera, al afirmar que el trabajo de la naturaleza se encontraba disponible para todas las actividades humanas, los economistas clásicos determinaron que sólo el trabajo humano podía influir en el valor de cambio, y que éste se determinaba en razón del rendimiento del trabajo (medido en términos pecuniarios) sobre el capital invertido y su posterior intercambio en el mercado.

Aunque el trabajo “no económico” también implicaba un consumo energético y de recursos, no entraba dentro del análisis de los economistas clásicos. Este es un hecho que perdura al interior de la economía en la actualidad, donde sólo se consideran aquellas actividades que puedan medirse en términos monetarios, marginando así del análisis a diversas actividades que contribuyen al agotamiento de los recursos materiales y energéticos<sup>14</sup>.

El trabajo se convirtió entonces en la unidad de medida mediante la cual podía asignársele un valor de cambio a las mercancías; a través de las innovaciones técnicas y científicas, éste podría hacerse más productivo, pero como dichas innovaciones dependían de la inversión en capital, a fin de cuentas era éste último el factor clave en la generación de riqueza.

Esta nueva noción del trabajo estuvo acompañada de una nueva noción de la riqueza, y fue con Adam Smith y Thomas Malthus (1766-1834), que esta concepción empezó a tomar forma y a circunscribirse únicamente a aquellos bienes que eran útiles, agradables, escasos y que además tenían cierta cantidad de trabajo incorporado; fue en este momento cuando muchos de los bienes que resultaban agradables y

---

<sup>14</sup> Por ejemplo el hecho de cocinar con leña tuvo mucho que ver con el agotamiento de los bosques en Inglaterra, sin mencionar los niveles de contaminación causados por su combustión

necesarios para la vida como el aire, el agua, la luz solar, el paisaje, etc., fueron marginados del campo de estudio de la economía.

David Ricardo (1772-1823), contribuyó también a desvirtuar la idea de que a través de la combinación entre trabajo y naturaleza se generaba la renta, ya que argumentaba que la renta no provenía del producto en sí, sino del precio al cual éste era vendido en el mercado, y como dicho precio se obtenía del ajuste entre la oferta y la demanda; sería el proceso social de la producción (la relación entre los agentes económicos) y no el proceso físico (la interacción entre materiales, energía, trabajo y capital), el que de ahora en adelante concentraría el interés del estudio económico.

El análisis de Ricardo tenía muy presente el problema del aumento de la población y la fertilidad de la tierra, él afirmaba que la creciente demanda de alimentos obligaría a la utilización de las tierras menos fértiles, lo que haría subir el precio de éstos, a raíz de ello los salarios reales también debían aumentar y por tanto las utilidades generadas por el capital disminuirían; esto en teoría significaba que la disponibilidad de tierras fértiles sería una limitante para el crecimiento económico.

En esta misma línea de razonamiento, Thomas Malthus argumentaba que este aumento en el salario real, contribuiría a reducir los índices de mortalidad entre la población trabajadora y a incrementar la tasa de nacimientos; empero, esta presión demográfica a la larga llevaría a descender nuevamente los salarios debido al exceso de oferta laboral y los niveles de mortalidad volverían a ascender debido al menor ingreso de los hogares. Esto ayudaría a controlar el aumento de la población.

Esta conclusión se derivaba del hecho de que para Malthus la población crecía en una secuencia geométrica, mientras que la producción material lo hacía en una secuencia aritmética<sup>15</sup> (Wrigley, 2010, p, 12).

---

<sup>15</sup> La secuencia aritmética tiene esta forma: 1, 2, 3, 4,5; mientras que la geométrica presenta este patrón: 1,2, 4, 8,16.

Se puede inferir que aunque para la teoría clásica el trabajo y el capital eran los dos factores generadores de riqueza, también tenían muy presente que la tierra representaba una talanquera para el crecimiento sostenido; es decir, que aunque entendían el proceso económico como un sistema cerrado en el que la producción y el consumo se retroalimentaban incesantemente, también eran conscientes de que existía un entorno físico (representado por las tierras menos fértiles y el crecimiento demográfico) que impedía que esta dinámica se perpetuara en el tiempo.

Más adelante, los economistas neoclásicos (que serán abordados en la segunda parte de este capítulo) rebatieron esta tesis basados en los incrementos de la productividad de la tierra conseguidos gracias al avance de la técnica; más allá de la validez de este hecho, es un asunto que no debería abandonarse por completo, ya que aunque las mejoras técnicas puedan implementarse constantemente, los recursos a los cuales éstas se aplicarán son finitos, y si estos se agotan, cualquier técnica (por más avanzada que esta sea) carecerá de utilidad.

Volviendo a Ricardo, otro de sus aportes importantes a la teoría económica, fue la introducción del concepto del *homo economicus*<sup>16</sup>, esta separación de la faceta económica respecto a las otras que conforman al ser humano es una muestra más del aislamiento metodológico del sistema económico respecto a los demás subsistemas en que se desarrollan los seres humanos.

De acuerdo a las ideas expuestas por los principales economistas clásicos se puede concluir que, para estos, el valor de los bienes dependía cada vez más del trabajo y el capital y menos de los recursos naturales y energéticos contenidos en los mismos; no obstante el hecho de tener presente de que la fertilidad de la tierra podía ralentizar el ritmo de las actividades económicas, no realizaron esfuerzos sistemáticos por incorporarla en su análisis.

---

<sup>16</sup> Este término que más adelante será vital para la escuela neoclásica consiste en la representación del ser humano como un ente racional capaz de responder a estímulos económicos y de procesar adecuadamente la información suministrada

Pero el hecho de que los bienes tuvieran cierta cantidad de trabajo y capital implícito era condición necesaria más no suficiente para que tuviesen un valor de cambio, era necesario además que alguien se apropiara de ellos y que estuviera dispuesto a intercambiarlos en el mercado, esta posibilidad de apropiación (a veces legal y en ocasiones por medios ilegales) otorgó el respaldo jurídico para el consumo y agotamiento de los recursos renovables y no renovables.

Resulta irónico que el sistema capitalista, una de cuyas premisas fundamentales consiste en el respeto a la propiedad privada, haya obtenido gran parte de las reservas materiales y energéticas que le permitieron su desarrollo mediante la explotación colonial por parte de aquellas potencias que más tarde se convertirían en sus promotores alrededor del mundo<sup>17</sup>.

En síntesis, para que un bien pudiera ser objeto de análisis bajo la escuela clásica, era necesario que cumpliera con las siguientes condiciones: 1) que fuera útil; 2) que fuera escaso; 3) que tuviera trabajo humano incorporado; y 4) que fuese apropiable e industrialmente reproducible. Debido a que la gran mayoría de los recursos naturales y energéticos no cumplían con dichas condiciones, (por ejemplo el agua, el aire, la luz solar, entre otros), era muy difícil asignárseles un valor de cambio y por lo tanto, no cabían dentro del análisis económico clásico. Además la fe en las posibilidades que el progreso científico y técnico brindaba al proceso productivo, llevó a los economistas de la época a creer en la posible sustitución de los recursos naturales y energéticos por capital y tecnología.

De esta manera, bajo la nueva lógica imperante en la que la producción dependía principalmente de las cantidades de trabajo y capital empleadas, los crecientes satisfactores de los individuos y la sociedad en general se suplirían a través de una aplicación más intensiva de estos factores a las reservas finitas de materiales, mediante el aprovechamiento de fuentes energéticas cada vez más eficientes

---

<sup>17</sup> Basta con revisar la historia de la Colonización de África, América, Australia y algunas regiones de Asia para corroborar esta afirmación.

necesarias para poner en marcha a un trabajo más productivo y a un capital tecnológicamente más complejo. No obstante, en el análisis económico clásico, el estudio de las fuentes energéticas empleadas en la producción brilló por su ausencia.

Por otro lado, hay que considerar el creciente impacto sobre los ecosistemas de la mayor actividad económica, teniendo en cuenta el carácter limitado de los recursos naturales que sirven como insumo y el creciente volumen de residuos que ésta genera. Empero, al igual que en el caso de la energía, estos dos aspectos no se incluyeron dentro del campo de estudio de la economía bajo el enfoque clásico.

En la época en que los economistas clásicos construyeron su marco teórico era posible ampliar los límites de la producción de bienes a través de la acumulación de capital, la contratación de más trabajadores y la extracción de un volumen mayor de materias primas de los ecosistemas; resulta obvio que las reservas materiales y energéticas que existían ciento cincuenta años atrás eran mucho mayores a las que existen en la actualidad, a pesar de ello el enfoque económico al respecto no ha variado mucho, por lo menos desde la perspectiva neoclásica que será analizada en la segunda parte de este capítulo.

## **1.2 El papel de la naturaleza y la energía en la visión económica neoclásica**

La Revolución Industrial iniciada en el último cuarto del siglo XVIII marcó el pasó de la economía orgánica (impulsada por la fuerza animal, de los hombres, el agua y el viento) a la economía inorgánica movida por los combustibles fósiles (inicialmente el carbón). Había pasado ya casi un siglo y las principales economías de la época estaban experimentando un crecimiento vertiginoso comparado con épocas anteriores, en efecto antes de 1820 la tasa global de crecimiento era del 0.22% y después de ese año pasó al 2.21%, es decir que ésta aumentó diez veces (Alam, 2005, p.13).

A partir de los datos anteriores se observa una relación directa entre el cambio en las fuentes energéticas utilizadas y el crecimiento económico; aunque para 1870, la escuela neoclásica no consideró que el crecimiento económico observado se debiera a esta razón, en lugar de ello reforzó aún más la tendencia iniciada con los clásicos de creer que éste dependía del capital y el trabajo.

A estos dos factores le sumó el avance tecnológico (como materialización del conocimiento) que permitía producir más bienes con las mismas cantidades de factores y crear sustitutos para los recursos agotables que la naturaleza proporcionaba.

Así la economía neoclásica se centraba en el estudio del comportamiento del individuo, el cual era el agente dinamizador de la economía; sus principales autores se ocupaban de formalizar sus preferencias y su función de demanda, dejando de lado el carácter social, histórico y físico del proceso productivo.

En esta economía, la producción satisfacía la demanda de los consumidores que a su vez sustentaban el nuevo ciclo de producción; era un proceso donde sólo se aplicaba la Primera Ley de la Termodinámica, la de la Conservación de la Energía, era una “riqueza de papel”, que crecía de manera ilimitada de la misma manera que podía crecer la emisión de dinero sin considerar el carácter limitado del entorno físico que la sustentaba.

Mientras que en la escuela clásica se le otorgaba el lugar central a la producción, la oferta y el costo de producción de los bienes; en la escuela neoclásica ese lugar lo ocupaban el consumo, la demanda y la utilidad (Roll, 1994, p.336). A partir de 1870 la economía asumió así un carácter más subjetivo, donde el consumo era el punto de partida, esta era una economía en donde el carácter social, histórico y ambiental de los procesos productivos carecía de importancia y los individuos eran ahora representados como agentes que sólo buscaban maximizar su utilidad a través del consumo de bienes materiales, en otras palabras eran *consumidores*, y estos constituían ahora el centro del análisis (Roll, 1994, p.337).

Siguiendo con Roll (1994, p.339), mientras que en los clásicos el trabajo era descrito como un esfuerzo físico mensurable, para los neoclásicos adquirió una connotación de

“sacrificio subjetivo” que los individuos realizaban con el fin de maximizar su utilidad, que no era otra cosa que incrementar su consumo. La sociedad era ahora (bajo la perspectiva neoclásica) una simple suma de individuos con dotaciones y gustos diferentes que se sacrificaban trabajando para poder maximizar su utilidad a través del consumo.

La ruptura con la teoría del valor-trabajo y la introducción de una nueva teoría subjetiva del valor basada en las motivaciones individuales, provocó que los economistas neoclásicos se olvidaran del contexto social y ambiental y se concentraran únicamente en estudiar estas demandas individuales (Roll, 1994, p.339).

El valor de un bien era medido ahora según el goce que proporcionaba a quien lo consumía, el valor dependía ahora totalmente de la interacción entre el sujeto y el objeto. La utilidad se definió entonces como la capacidad que tenía un bien para producir placer y alejar el dolor en el individuo, y ya que Jevons afirmaba que “*el valor depende por entero de la utilidad*” (citado por Roll, 1994, p.345), entonces el valor de los bienes dependía ahora por completo de la percepción individual.

El trabajo no era ya el factor determinante del valor, para Jevons el trabajo empleado en la producción de un bien era una “cosa perdida para siempre” (citado por Roll, p.349) por lo que no podría influir en el valor de mercado de éste; aunque, debido a que la utilidad podría alterarse por cambios en la oferta y ésta estaba a su vez determinada en parte por el trabajo, se podía afirmar que el trabajo influía indirectamente en el valor (Roll, 1994, p.349).

A pesar de que los autores neoclásicos no lo mencionaron, este mismo razonamiento puede aplicarse a la energía, ya que ésta también se “pierde para siempre”<sup>18</sup> con la producción y afecta a la oferta; por lo que el hecho de que ésta no se mencionase es una muestra clara de su marginación por parte de la teoría neoclásica.

Con base en lo anterior, los bienes fueron ordenados en tres categorías: en la primera estaban aquellos que proporcionaban un goce inmediato (bienes de consumo); los de

---

<sup>18</sup> Este hecho se explicará en el siguiente capítulo cuando se aborde el tema de La Ley de la Entropía

segunda clase eran los que se necesitaban conjuntamente para obtener utilidad (bienes complementarios); y en la tercera se encontraban aquellos que eran usados en la producción de otros bienes (Roll, 1994, pp.342-343).

Los recursos naturales y energéticos entrarían en esta última categoría, ya que en la función de producción neoclásica, participaban como insumos intermedios en la producción de otros bienes, por lo que jugaban un papel marginal, más aún cuando (como se verá más adelante) se les consideraba como factores sustituibles dentro de la función de producción.

Con los neoclásicos se consolidó la noción de riqueza planteada por los principales autores de la escuela clásica, la cual puede resumirse en esta afirmación de Jean Baptiste Say (1767-1832):

*“los hombres disfrutan de ciertos bienes que la naturaleza les concede gratuitamente, tales como el aire, el agua, la luz del sol; pero no es a estos bienes a los que por lo común se les da el nombre de riquezas. Este se reserva para aquellos que tienen un valor (de cambio) que les es propio y que deviene propiedad exclusiva de sus poseedores. La riqueza está en proporción a este valor: es grande si la suma de valores que la componen es considerable; es pequeño si los valores lo son”* (citado por Naredo, 1987, p.248).

Jevons afirmó a su vez que los recursos naturales debían ser considerados como condiciones para la riqueza, más no como riqueza en sí (Naredo, 1987, p.249). Es claro que si bajo la doctrina clásica, la energía y los recursos naturales estaban por fuera del campo de estudio económico, en la escuela neoclásica, este hecho no hizo más que confirmarse.

Algunos autores como Léon Walras (1834-1910) clasificaron a los recursos naturales como rentas, lo que resultaba contradictorio, ya que las rentas se asocian a flujos renovables y la mayoría de estos recursos son finitos (Naredo, 1987, p.252).

La doctrina neoclásica dio un paso adelante en el esfuerzo comenzado por algunos autores clásicos de suprimir la tierra e incluirla bajo la categoría de capital; así todos los

recursos naturales y energéticos (renovables y no renovables) entraron a formar parte de esta categoría, con lo que en teoría quedó abierta la posibilidad de sustituirlos (Naredo, 1987, p.254).

Existe un artículo seminal que precedió, y en cierta manera inspiró, tal como lo reconoce Solow (1974, p.1), los estudios neoclásicos relacionados con el tema de los recursos agotables, se trata de *The Economics of Exhaustible Resources* de Harold Hotelling, publicada en 1931. En este se planteaba que, bajo competencia perfecta, los precios de los recursos no renovables tenderían a crecer de manera monótona de acuerdo al tipo de interés del mercado, hasta que la demanda por dicho bien fuese igual a cero.

Dicho artículo partió de la idea de que, el análisis estático convencional planteado desde el equilibrio Walrasiano, era insuficiente para estudiar una industria en la cual una tasa de producción constante resultaba ser físicamente imposible y, por lo tanto, resultaba necesario hallar una “*Regla de asignación óptima intergeneracional*” para los bienes agotables (Martínez y Roca, 2000, p.303).

Hotelling enunció esta regla tanto desde el aspecto descriptivo (en el sentido tradicional de la maximización del beneficio individual), como desde el normativo (la búsqueda del mayor beneficio social posible).

Partiendo de una situación de competencia perfecta, el propietario individual de un recurso agotable no podía influir en la determinación del precio de éste, por lo que lo consideraría como un activo financiero, y se enfrentaría a la disyuntiva de venderlo hoy al precio del mercado, o posponer su venta para un periodo futuro donde el precio fuese mayor; ya que: “*lo racional desde el punto de vista financiero es descontar el futuro (es decir): no considerar equivalente un dólar de hoy a un dólar de mañana. Según dicha racionalidad, lo rentable será esperar a vender en el futuro sólo si el precio*

*del recurso se revalora a un ritmo, como mínimo, igual al tipo de interés”* (Martínez y Roca, 2000, p.304) que es la tasa a la cual los propietarios descuentan el futuro.

Así que la gestión de los recursos agotables bajo el esquema planteado por Hotelling se basaba en la valoración que los propietarios de los recursos hacían del futuro; por ejemplo: si la tasa de descuento del futuro fuera del 10% (interés efectivo anual) y el precio de una unidad del bien hoy (dígase un barril de petróleo) es de 100 dólares, el propietario de este barril sólo estaría dispuesto a conservarlo para el próximo año si pudiera venderlo por lo menos a 110 dólares, en caso contrario lo vendería ahora y colocaría este dinero a la tasa de interés del mercado.

Entonces:  $P_F = P_P (1+R)^T$ . (\*)

Dónde:  $P_F$  = Precio futuro del bien.

$P_P$  = Precio presente

$R$  = Tipo de interés anual (o tasa de descuento)

$T$  = Número de periodos de tiempo.

Y si se toma el interés continuo como  $i = \ln(1+R)$  y se reemplaza en (\*), resultaría:  
 $P_F = P_P e^{it}$ .

Si la expectativa del precio futuro crecía a una tasa mayor a la de la tasa de interés, convendría aplazar las ventas para el futuro, pero si la tasa de interés del mercado era mayor a la proyección de los precios, resultaba más conveniente vender de inmediato e invertir el producto de dicha venta a la tasa de interés del mercado.

Si se toma como ejemplo la misma función de demanda planteada por Hotelling:

$Q(P) = 5 - P$ , con  $P \leq 5$ .

Dónde:  $P$ : precio del bien

$Q$ : cantidad demandada

Y si se toma como base un “stock” de 100 unidades y una tasa de interés continuo de 10%; la trayectoria de precios del recurso seguiría la siguiente trayectoria: 0.26, 0.29, 0.32, 0.35.... hasta alcanzar un precio igual a 5 en aproximadamente 29 años (Martínez y Roca, 2000, p.306).

Según el razonamiento de Solow (que se describirá más adelante) para este nivel de precio se suponía una demanda y unas reservas nulas, es decir, la última tonelada demandada sería también la última tonelada en el suelo (1974, p, 3) y de acuerdo a *La falacia de la sustitución* de Georgescu-Roegen, que consiste en afirmar que ningún material es tan específico como para que no sea susceptible de sustitución económica (Georgescu-Roegen, 1975, p.104) y a Dasgupta y Heal (1974, p.18) quienes planteaban que este momento coincidiría con el desarrollo de un sustituto sintético para dicho recurso. Para ese momento la humanidad ya habría encontrado un sustituto para el bien agotado. Por tanto, cuando el bien en cuestión alcanzara un precio igual a 5 (al cabo de 29 años), la demanda se desplazaría hacia el bien sustituto.

Pero se debe tener muy claro que este ejemplo sólo consideraba la conducta de un agente individual, que dado el supuesto de competencia perfecta, no tenía el suficiente poder de influencia en el mercado; para que este comportamiento optimizador se extrapolara al conjunto de la economía, era necesario recurrir al concepto de demanda especulativa<sup>19</sup>.

Si las expectativas de todos los oferentes y demandantes de un bien agotable coincidían en que la senda de precios de éste estaría definida por  $w e^{it}$ , donde  $w$  representaba el precio del bien en el periodo actual, y además existía la posibilidad de que los agentes pudieran acudir en busca de liquidez a una tasa de interés continuo definida por  $i$ . Se podía afirmar entonces que para un precio menor a  $w$ , la demanda

---

<sup>19</sup> Esta se define como la demanda que no se origina únicamente en el hecho de querer dar una utilización final al bien, sino más bien con el fin de realizar una inversión en un activo financiero del cual se espera que en un futuro, pueda ser vendido a un precio que compense a la tasa de interés (Roca, 1991, pp 111-123).

total (que estaba compuesta por la demanda final que es aquella destinada al consumo y por la demanda especulativa) equivaldría al stock total del recurso y para un precio mayor a  $w$ , ésta tendería a cero (dependiendo de la elasticidad de la demanda final), el mismo razonamiento se podía aplicar por el lado de la oferta.

Es decir, para precios diferentes a  $w$ , la oferta y la demanda no se podrían intersectar, por lo tanto, el único punto de equilibrio se hallaría cuando el precio fuese igual a  $w$ , en el cual se consumiría una cantidad  $Q$  que determinaría el ritmo de agotamiento del recurso; este ritmo de agotamiento no tendría en cuenta consideraciones de tipo ambiental, ético o político, sólo estaría determinado por razones económicas.

De lo anterior se infiere que la demanda especulativa (al ser completamente elástica), mantendrá el precio oscilando alrededor de  $w$ , garantizando así la trayectoria óptima de asignación de recursos planteada por Hotelling; pero este precio  $w$  no guarda relación alguna con el stock inicial del recurso, ni considera la posibilidad de una demanda final variable, sólo representa el valor en el que la demanda especulativa se hace completamente elástica.

A la conclusión que llegó Hotelling es que bajo competencia perfecta, para determinada función de demanda constante y para cierto stock de un bien agotable, era posible determinar una trayectoria creciente de precios que guiaría el proceso de agotamiento de este bien hasta hacerlo coincidir con el nivel de precios para el cual la demanda era nula y con el desarrollo de un sustituto sintético para dicho recurso.

Pero el modelo planteado por Hotelling adolece de ciertas limitaciones que generan muchas dudas sobre su viabilidad a la hora de proponer estrategias de gestión para los bienes agotables: primero, que es imposible asegurar que la función de demanda de un bien se mantendrá inalterada por determinado periodo de tiempo, ya que resulta imposible conocer las preferencias y el nivel de renta de las personas no nacidas, así como tampoco se puede saber si los costos de producción y extracción del bien se mantendrán constantes a través del tiempo.

También resulta extremadamente complicado que bajo competencia perfecta, los agentes productores logren llegar simultáneamente al precio de equilibrio del bien (el que antes se definió como  $w$ ), ante la eventualidad de, por ejemplo, un aumento súbito y significativo del stock del recurso, o ante las muchas circunstancias exógenas a los mercados que rodean el tema de los recursos energéticos (geopolíticas, ambientales, militares, ideológicas, etc.)

Bajo la lógica individualista de la maximización del beneficio es imposible que los agentes económicos involucrados en los mercados de este tipo de bienes, se preocupen por dedicar los suficientes recursos para conocer los costos de obtención de estos en el futuro; así como por determinar con la suficiente precisión cuál será la verdadera función de demanda y los efectos sobre el medio ambiente que enfrentarán las generaciones aún por nacer y mucho menos las tecnologías y posibles fuentes de energías alternativas de que dispondrán.

El hecho de que la energía y los recursos naturales recibieran el mismo tratamiento metodológico que el capital, les permitió a los economistas neoclásicos incorporar algunos supuestos en sus modelos que en teoría permitían superar la restricción que el carácter limitado de aquellos implicaba para el crecimiento económico sostenido. En este trabajo se analizarán dos de ellos: el cambio tecnológico y la sustituibilidad entre factores.

El cambio tecnológico se refiere al avance del conjunto de tecnologías que permiten aprovechar de mejor manera las combinaciones de trabajo y capital, este cambio implica un incremento desproporcionado en el producto en comparación con el gasto efectuado en los factores productivos (Granda, 2007, p.108). Es decir, que debido al cambio tecnológico un incremento del  $x\%$  en las cantidades de trabajo y/o capital provocará un incremento mayor al  $x\%$  en el producto final, o visto de otra manera, se puede mantener el mismo nivel de producción con una menor cantidad de factores.

Ya que el avance tecnológico es producto del conocimiento humano, y éste es en principio ilimitado, entonces se podía afirmar, según la lógica neoclásica, que el creciente acervo de conocimientos aplicado a los procesos productivos podría apuntalar un crecimiento económico sostenido, sin importar el carácter limitado de las fuentes materiales y energéticas que constituyen la base de la producción material.

En Dasgupta y Heal (1974) se representaba el progreso tecnológico como la condición necesaria para el desarrollo de un sustituto sintético que permitiría que un recurso agotable que antes era esencial para la producción, dejara de serlo<sup>20</sup> (Dasgupta y Heal, 1974, p.18), además se suponía que, indefectiblemente, el descubrimiento de este sustituto *perfecto* se haría en algún momento en el futuro, y como por si fuera poco, se planteaba también que ninguno de los recursos se agotaría antes de que su sustituto fuera descubierto (Dasgupta y Heal, 1974, p.20).

Robert Solow (1974) tomó la definición de William Nordhaus de la “*Tecnología de contención*” para describir el fenómeno anterior; ésta definición se basaba en el argumento de que en primera instancia el precio del sustituto sintético sería más elevado que el del recurso en sí, pero a medida que éste último comenzara a escasear y su demanda no disminuyera, su precio se elevaría hasta ser mayor que el del bien sustituto y éste lo remplazaría en el mercado. De esta manera el precio del bien sustituto representaba también un techo para el precio de mercado de los recursos agotables (Solow, 1974, p.4).

Se puede observar cierta confusión entre lo que es un cambio tecnológico y la sustitución entre factores, porque si se considera la descripción de cambio tecnológico descrita en los dos últimos párrafos, se encuentra que perfectamente podría definir también la sustitución de un factor (en este caso un recurso agotable) por otro de carácter reproducible.

---

<sup>20</sup> Esto se debe a que los autores suponían como un hecho el desarrollo de este sustituto gracias al continuo avance de la investigación industrial, lo único que planteaban como una variable aleatoria, era el momento en que este desarrollo ocurriría (Dasgupta y Heal, 1974, p.19)

Estos razonamientos derivan en lo que Georgescu-Roegen llamó la “*falacia de la sustitución interminable*”<sup>21</sup>; incluso en el caso de que esta posibilidad sea real, la sustitución dentro de unas reservas materiales finitas no puede extenderse al infinito (Georgescu-Roegen, 1975, p.104); este es un asunto que no es considerado de manera rigurosa en los estudios neoclásicos analizados.

Al interior de la teoría neoclásica del crecimiento, se pueden identificar dos corrientes teóricas básicas: la del crecimiento exógeno, que asume el avance tecnológico como un fenómeno ajeno al modelo y constante a lo largo del tiempo, y la del crecimiento endógeno, que supone que el cambio tecnológico es un factor endógeno al modelo.

En este trabajo se analizarán los planteamientos del primer grupo, en donde el modelo de crecimiento de Solow y Swan (1956) es muy ilustrativo en el asunto que lo ocupa, que es el papel marginal asignado a la energía en los modelos de crecimiento neoclásicos.

*“El modelo de crecimiento de Solow y Swan (1956)... se basa en una función de producción. En esta función el producto (por ejemplo el producto total de una nación o producto interno bruto) es creado por los insumos capital, trabajo e incrementos en la eficiencia laboral (pues cualquier mejora tecnológica a través del tiempo se puede expresar como un incremento en la eficiencia del trabajo - mayor producción por hora trabajada-). Una combinación de estos tres elementos genera la producción agregada, y dada la cantidad de esos insumos se puede estimar a través del tiempo la producción y el crecimiento esperado de un país”* (Banco de la República, Reportes del Emisor, 2001, p.2)

El modelo utiliza cuatro variables fundamentales: Producto (Y), Capital (K), Trabajo (L) y Tecnología (A) y tiene la siguiente forma:

$$Y_t = F(K_t, A_t L_t) \quad (1)$$

---

<sup>21</sup> La cual se definió en la página 22.

Donde  $AtLt$  se puede interpretar como las unidades de trabajo efectivas, es decir  $At$  es la productividad del trabajo, de la ecuación (1) se colige que la producción no está directamente relacionada con la energía ni con los recursos naturales que suministran la materia prima, en otras palabras, se produce sólo a partir de una combinación de capital, trabajo y tecnología.

El modelo supone además rendimientos constantes a escala, esto significa que un aumento del  $x\%$  en la utilización de todos los factores, repercutirá en un aumento del  $x\%$  de la producción.

Este supuesto le permite expresar la función en unidades de trabajo efectivas:

$$K_t = K_t / (A_t L_t) \quad (2)$$

$$Y_t = f(k_t, 1) \iff y_t = f(k_t) \quad (3)$$

Y concluir que el aumento del producto está directamente relacionado con la acumulación de capital.

El stock de capital se acumula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$DK_t/dt = sY_t - \delta K_t \quad (4)$$

Donde  $\delta$  representa la tasa de depreciación del capital y  $s$  representa la tasa de inversión en capital.

El modelo supone también que el trabajo ( $L$ ) y la productividad de éste ( $A$ ) crecen a tasas constantes y exógenas:

$$L_t = L_0 (e^{nt}) \quad (5)$$

$$A_t = A_0 (e^{gt}) \quad (6)$$

Donde  $L_0$  y  $A_0$  son las dotaciones de trabajo y el estado de la productividad en el primer periodo,  $n$  es la tasa de crecimiento de la población y  $g$  la tasa de incremento de la productividad o del factor tecnológico. La ecuación (6) es la que permite identificar a éste como un modelo de crecimiento exógeno, ya que permite afirmar que el progreso tecnológico está de cierta manera garantizado. Es acá donde cabe preguntarse qué

proporción de este progreso se debe al incremento en la disponibilidad y calidad de la energía utilizada en el proceso económico, obviamente en el modelo que se analizó, esta proporción es insignificante.

Para saber como el stock de capital varía a lo largo del tiempo, se usan las ecuaciones 3), 5) y 6), para reescribir la ecuación 4) de la siguiente forma:

$$Dk /dt = sf (kt) - (n + g + \delta)kt \quad (7)$$

Donde  $sf (kt)$  es la inversión bruta en el periodo  $t$ , y la expresión  $(n + g + \delta) kt$  representa la inversión requerida para mantener el stock de capital en el periodo actual.

El modelo plantea que la economía alcanza un estado estacionario  $K^*$ , en donde la inversión bruta se iguala a la inversión requerida para mantener el capital, es decir cuando  $dk/dt = 0$ , si en algún momento el stock de capital se encuentra por encima del stock de equilibrio ( $K^*$ ), la inversión de reposición del capital crecerá hasta hacerse mayor que la inversión bruta en nuevo capital y por lo tanto la tasa de acumulación decrecerá hasta alcanzar  $K^*$ . Lo opuesto ocurrirá si el stock se encuentra por debajo del nivel de equilibrio. Por tanto la economía siempre tenderá al nivel de stock de capital de equilibrio (por lo menos en el análisis neoclásico).

A continuación los autores replantean la ecuación (7) de la siguiente forma:

$$K/k = s(Y/K) - (\delta + g + n) \quad (8)$$

En el estado estacionario,  $k/k= 0$  y como  $\delta$ ,  $g$ ,  $n$  se asumen constantes, entonces  $s (Y/K)$  también es constante. Por lo que el modelo concluye que en el estado estacionario, el producto y el capital crecen a la misma tasa.

Tomando una función de la forma Cobb-Douglas y reordenando las ecuaciones anteriores, se llega a la siguiente ecuación que representa el volumen de capital en el estado estacionario:

$$K^* = [s/(n + g + \delta)]^{1/(1-\alpha)} \quad (9)$$

Y como el producto crece a la misma tasa que el capital, entonces:

$$Y_t^* = [s/(n + g + \delta)]^{\alpha/(1-\alpha)} \quad (10)$$

Se concluye que en el estado estacionario, el producto depende directamente de la tasa de inversión e inversamente de la tasa de crecimiento de la población, de la tasa de crecimiento del factor tecnológico y de la tasa de depreciación.

La ecuación (10) permite apreciar que el crecimiento del producto no guarda una relación directa con el consumo de energía ni con la utilización de recursos, el modelo asume que las inversiones en capital son el factor determinante, ya que  $\delta$ ,  $g$ ,  $n$  se asumen constantes y exógenas.

El enfoque neoclásico plantea como único prerrequisito para el crecimiento de los niveles de producción que la inversión bruta en nuevo capital supere a la inversión de reposición del capital existente, pero este razonamiento no considera la depreciación de recursos naturales no renovables ni tampoco el proceso de degradación entrópica que se originan en el proceso productivo.

Estos últimos se consideran como *fijos*, es decir, mientras haya fondos disponibles para que la inversión neta en capital ( $sf(k_t) - (n + g + \delta)kt$ ) sea mayor que cero, el producto podrá seguir creciendo incesantemente.

Las teorías neoclásicas del crecimiento económico se fundamentan en los argumentos arriba descritos; consideran que éste proviene del trabajo, el capital y la tecnología, mientras que la energía y los recursos naturales solamente son medios (perfectamente sustituibles) para conseguir dicho fin, el ingenio humano y la acumulación de capital permiten prescindir de ellos y alcanzar el crecimiento sostenido. La economía ha logrado así su cometido, consiguió aislarse del entorno físico y crear su propia

“máquina de movimiento perpetuo” impulsada por la retroalimentación entre producción y consumo.

Esta ha sido la visión dominante del crecimiento en la economía desde 1870; aunque no ha sido la única, tanto desde el interior como desde el exterior de la teoría económica se han planteado alternativas a este modelo de crecimiento, alternativas que pretenden articular la dinámica de la actividad económica con la realidad física y social que la contiene.

En el siguiente capítulo se tratara de mostrar por qué desde la economía ecológica se plantea que aquello no es posible.

## **2. EL CRECIMIENTO ECONOMICO VISTO DESDE LA ECONOMIA ECOLOGICA**

En los capítulos precedentes se ha observado que las corrientes económicas dominantes (que en esta tesis están representadas por las escuelas clásica y neoclásica) han construido sus modelos de crecimiento económico sobre la base de una función de producción compuesta por capital, trabajo y tecnología; en estos modelos la energía y los recursos naturales sólo aparecen implícitamente como insumos intermedios sustituibles.

Este aislamiento del sistema económico respecto al entorno físico planteado desde la economía ha sido cuestionado desde mediados del siglo XIX, y es que la formulación de las Leyes de la Termodinámica, especialmente la Ley de la Entropía, llamó la atención sobre la imposibilidad del crecimiento económico ilimitado basado en recursos energéticos y materiales limitados; a pesar de esto, la economía pretendió evadir a esta realidad mediante los supuestos del avance tecnológico y la sustitución entre factores.

Pero esta solución no fue aceptada de manera unánime, por lo que desde el exterior de la disciplina se comenzaron a plantear visiones alternativas del proceso económico, perspectivas que involucraban directamente el estudio de los flujos energéticos.

También algunos economistas, insatisfechos con los preceptos adoptados por la mayoría de sus colegas, buscaron articular sus investigaciones con otras ramas del conocimiento que pudieran aportar al entendimiento de la economía desde una óptica que la integrara a los flujos energéticos y de materiales.

En esta sección se enunciarán y analizarán los principales aportes que en este sentido se realizaron desde mediados del siglo XIX hasta la década del setenta del siglo XX, si bien no puede agrupárselos a todos bajo el rótulo de economía ecológica, bien pueden considerarse como esfuerzos pioneros en la búsqueda de una integración entre economía y energía y en la construcción de una nueva escuela del pensamiento económico.

## **2.1 Los orígenes: Desde los Fisiócratas hasta Nicholas Georgescu-Roegen**

Puede afirmarse que la primera escuela del pensamiento económico, en el sentido que hoy se la da a este término, fue la que posteriormente se conoció como La Fisiocracia que traducido del Griego significa: “Gobierno de la naturaleza” (Roll, 1994, p.119), ésta cobró fuerza especialmente en la Francia de principios y mediados del siglo XVIII, y su tesis principal consistía en afirmar que la agricultura era la única actividad económica verdaderamente productiva, ya que sólo a través de ésta era posible la generación de un *producto neto*<sup>22</sup> y que además este producto neto era la causa de los auges y caídas en el ciclo económico (Cleveland, 1987, p.50).

Quizás se pueda encontrar el respaldo para tal afirmación en la ya citada obra de Thomas Hobbes: *El Leviatán*, cuando éste afirma que: “*La abundancia de materia para mantener la vida es cosa limitada por la naturaleza a aquellos bienes que provenientes*

---

<sup>22</sup> Para las Fisiócratas el producto neto era el excedente de riqueza material (no monetaria) que se originaba en la agricultura, debido a que en esta actividad la relación producto/avances en material era mayor a la unidad (Roll, 1994, p.120; Naredo, 1987, p.104).

*de la tierra o del mar... Dios da libremente o vende a cambio de trabajo a la humanidad.*" (Citado por Naredo, 1987, p.79).

Mientras que la agricultura para los fisiócratas generaba un producto neto, la industria y el comercio sólo cumplían la función de transmutar dicho excedente, produciendo así la llamada "riqueza económica"<sup>23</sup>; ya que éstas actividades eran incapaces de reponer los desperdicios generados en sus respectivos procesos productivos, se consideraban en el análisis fisiocrático como "aniquiladoras" de riqueza; por lo tanto la generación de ésta era obra de la naturaleza y no de la productividad del trabajo (Roll, 1994, p.121).

Los fisiócratas planteaban que los fenómenos físicos tales como las lluvias y la fertilidad del suelo eran de gran importancia para las actividades económicas, y como estos escapan a la influencia humana, el hombre debía comprenderlos y adaptar su economía a ellos para maximizar el bienestar (Cleveland, 1987, p.49). Por tanto, para ellos no era posible concebir a la economía como un subsistema aislado del entorno físico.

Esta segmentación de la actividad económica entre agricultura, industria y comercio trajo consigo una división de clases, basada en el sector de la economía en que cada ciudadano se desempeñara; uno de los considerados padres de la Fisiocracia, Francois Quesnay (1694-1774)<sup>24</sup>, a través de su "*Tableau économique*" de 1758 fue quien inicialmente planteó la división de la sociedad en tres clases: La productiva, compuesta por los agricultores, que mediante su trabajo obtenían el producto neto de la tierra; la de los propietarios, entre los que se encontraban los dueños de la tierra, el rey, la Iglesia y los empleados públicos y que vivían de los arrendamientos, impuestos y diezmos pagados por los agricultores; y la estéril, conformada entre otros por artesanos y comerciantes quienes se ocupaban principalmente de transformar las materias primas al aplicar su trabajo a las materias primas extraídas de la naturaleza, pero que no generaban ningún tipo de excedente material (Roll, 1994, p.122).

---

<sup>23</sup> Que era aquella que entraba al ciclo económico y era gravada por el Estado.

<sup>24</sup> También vale la pena destacar los aportes de Turgot (1766), Mirabeau (1763) y Dupont (1768) entre otros. (Cleveland, 1987, p.49).

Debido a que para los fisiócratas la agricultura era la única clase productiva de la sociedad, propusieron que la tributación y la intervención estatal debían limitarse sólo a esta actividad, ya que un impuesto a la industria, sería un impuesto indirecto a la tierra<sup>25</sup>, por lo que resultaría antieconómico (Roll, 1994, p.126).

El *Tableau* de Quesnay se ocupaba de la circulación de mercancías en cantidades físicas y de valores de uso, aunque la imposibilidad que existía en aquella época de incluir análisis en términos de flujos energéticos, obligó a su autor a expresar estas cantidades en términos monetarios; lo que dejó abierta la posibilidad de un crecimiento económico ilimitado, debido a que la masa monetaria en circulación podía aumentar indefinidamente<sup>26</sup>.

Posteriormente dentro de las escuelas clásica y neoclásica se decidió superar este inconveniente al eliminar el aspecto material del análisis de Quesnay y ocuparse únicamente en los flujos monetarios; así la producción ya no se abordó desde su perspectiva material, sino desde la óptica de los valores de cambio (Naredo, 1987, p.107)<sup>27</sup>.

La escuela fisiocrática entró así en decadencia a partir de la aparición de la escuela clásica y pasó a ocupar un lugar marginal dentro de la Historia del Pensamiento Económico, pero esto no significó que el enfoque económico impuesto por el clasicismo y continuado por los neoclásicos haya prevalecido como la *única* opción para abordar el estudio económico; desde mediados del siglo XIX se plantearon propuestas alternativas que incluían el análisis de los flujos energéticos y materiales en el ciclo económico. Tal como se observará a continuación, muchas de estas propuestas provinieron de fuera de la disciplina económica.

---

<sup>25</sup> Dado que éste provocaría un aumento en los precios de los bienes manufacturados que servían como insumos para la producción agrícola y como bienes de consumo para los agricultores, lo que indirectamente llevaría a la elevación en el precio de los bienes agrícolas.

<sup>26</sup> Con este hecho se desvirtuaba la idea fisiocrática de que la riqueza depende de la producción real generada únicamente en la naturaleza y se abría la posibilidad de sustituirla por una riqueza de papel.

<sup>27</sup> Tal como se observó en la sección 1.1 de este trabajo.

Se puede tomar como base para tales cuestionamientos la formulación de las Leyes de la Termodinámica, especialmente de la Segunda Ley, o Ley de la Entropía, planteada por el Físico y Matemático alemán Rudolf Clausius en 1850.

Para describir la Ley de la Entropía se recurrirá a la definición propuesta por el economista rumano Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994) que en su artículo: “Energía y mitos económicos”, afirma que:

*“La oposición irreductible entre la mecánica y la termodinámica arranca de la Segunda ley, la Ley de la Entropía. Su más vieja formulación es también la más sencilla para el profano: “el calor, por sí solo, fluye únicamente del cuerpo más caliente al cuerpo más frío, y nunca a la inversa”. Otra formulación más compleja pero equivalente es que la entropía de un sistema cerrado aumenta continua e irrevocablemente hacia un punto máximo, o sea, la energía disponible es transformada continuamente en energía no disponible hasta que desaparece completamente”.* (Georgescu-Roegen, 1975, p.97).

Ya en 1824, los experimentos de Sadi Carnot con la máquina de vapor habían demostrado que la Segunda Ley de la Termodinámica<sup>28</sup>, (que en dichos experimentos significaba cuánto trabajo útil podía ser obtenido a partir de una transformación de energía), tenía enormes implicaciones en el proceso económico. (Cleveland, 1987, p.50).

En la década de 1850, era posible cuantificar el flujo de energía solar que entraba al planeta y determinar qué proporción de ese flujo podía ser transformado por las plantas en energía útil (Martínez-Alier y Schlupmann, 1991, p. 66), también se podía cuantificar el consumo de energía en kilocalorías<sup>29</sup> de los seres humanos y los animales; a raíz de ello se comenzaron a realizar los primeros esfuerzos por determinar el rendimiento energético en la economía.

---

<sup>28</sup> No definida formalmente en ese momento.

<sup>29</sup> Unidad de energía térmica equivalente a mil calorías, es decir, la cantidad de calor necesaria para elevar un grado la temperatura de un litro de agua a quince grados

El Médico socialista ucraniano Sergei Podolinsky (1850-1891), fue el primero en analizar el proceso económico desde una perspectiva termodinámica, basado en la Segunda Ley de Clausius<sup>30</sup>; afirmó que el sol era la fuente primaria de toda la energía del planeta, ya que las demás fuentes energéticas no eran más que transformaciones de la energía solar.

Sus investigaciones le llevaron a concluir que el modelo socialista era defectuoso porque asumía que los avances científicos le permitirían superar las escaseces de recursos naturales y garantizarle una expansión material ilimitada<sup>31</sup>. Estas conclusiones fueron leídas por Frederick Engels quien no les prestó la suficiente atención (Cleveland, 1987, p.52).

Planteó con cien años de anticipación tres conceptos clave en el análisis biofísico actual: la evaluación de los flujos energéticos para medir la eficiencia en la producción alimenticia; la productividad del trabajo como función de la cantidad de energía utilizada; y la medición de la energía neta<sup>32</sup> en el caso de la producción de alimentos.

Con respecto al primer concepto, realizó mediciones comparativas entre los rendimientos energéticos (medidos en kilocalorías) de los bosques y pastos naturales, y los de las tierras cultivadas por el hombre, observó que estas últimas generaban un mayor aporte energético por hectárea; esto le llevo a concluir que el trabajo humano permitía una mayor acumulación de energía sobre la tierra. A través de estos datos buscaba proporcionar una base científica para la teoría del valor-trabajo, pero ni Marx ni Engels lo supieron apreciar (Martínez-Alier y Schlupmann, 1991, p. 69).

---

<sup>30</sup> O también conocida como la Ley de la Entropía, que en este trabajo fue enunciada a partir de la definición de Georgescu-Roegen (p.34).

<sup>31</sup> Lo que contradecía la Ley de la Entropía en la que se basaba gran parte de su trabajo.

<sup>32</sup> Podolinsky definió la energía neta como la diferencia entre el valor calórico de la comida producida y la energía usada para producirla (Cleveland, 1987, p.52)

Definió la productividad del trabajo en términos energéticos, para ello calculó la proporción de energía acumulada por la alimentación que se transformaba en trabajo muscular (o el coeficiente económico); obtuvo que éste coeficiente podía llegar a un 20% en el caso de que toda la energía acumulada se destinara al trabajo, pero como este no era el caso, ajustó su coeficiente a un 10%. Es decir, que para mantener las condiciones mínimas de existencia de la sociedad, la productividad del trabajo debía ser mayor o igual al coeficiente económico (Martínez-Alier y Schlupmann, 1991, p. 71).

Las investigaciones de Podolinsky le habrían permitido a la economía articular los indicadores monetarios con algunos de carácter energético, (lo que resulta determinante a la luz de los planteamientos Termodinámicos). No obstante, como se observó en el primer capítulo, su influencia en el estudio económico fue bastante limitada.

En 1881 el Profesor austriaco Eduard Sacher publicó su libro *Fundamentos de una Mecánica de la Sociedad*, en éste afirmó que las ciencias naturales proporcionaban la base para una economía racional, evidenciando una coincidencia con las teorías clásica y neoclásica; pero la diferencia se hacía manifiesta cuando definió al ser humano como una máquina térmica con capacidad para realizar un trabajo (Martínez, Schlupmann, 1991, p.87) y no como un consumidor que buscaba maximizar la utilidad, como ocurrió con los neoclásicos.

A partir de estudios fisiológicos previos, Sacher pudo establecer que el producto del trabajo de un obrero era aproximadamente de 450 kilocalorías diarias y argumentó que: *“El objetivo económico de la fuerza de trabajo disponible consiste en obtener de la naturaleza la mayor cantidad posible de energía”* (Citado por Martínez, Schlupmann, 1991, p.87). Es notoria la diferencia entre este enfoque y el neoclásico que asociaba al trabajo con un sacrificio realizado con el fin de maximizar la utilidad a través del consumo de bienes.

Mientras Sacher entendía a la economía como un proceso mediante el cual, a través de un trabajo aplicado, la sociedad era capaz de aprovechar las fuentes energéticas disponibles en la naturaleza, los neoclásicos la veían como el sacrificio individual que cada individuo realizaba con el único fin de maximizar su utilidad a través del consumo (Roll, 1994, p.339). Es claro que bajo este enfoque individualista, resulta difícil abordar cuestiones de tipo ambiental.

Sacher analizó las diversas fuentes energéticas disponibles para las actividades económicas y con base en esto calculó la cantidad de energía per cápita disponible en las distintas etapas de avance cultural<sup>33</sup>, relacionando dicha cantidad con el grado de desarrollo económico; además se interesó en estudiar cómo algunos grupos al interior de estas sociedades se apoderaban de cantidades de energía mayores a las que necesitaban para su subsistencia, lo que bien puede entenderse como una versión energética de los análisis de Marx y Engels sobre la lucha de clases.

Así mismo, diagramó la utilización diaria de energía en estas etapas del desarrollo y los datos que encontró le permitieron concluir que la diferencia entre la sociedad contemporánea más avanzada con sus predecesoras radicaba principalmente en el consumo exosomático de energía, ya que si se analizaban las cifras del consumo endosomático (la alimentación), la diferencia entre los diferentes tipos de sociedades era exigua<sup>34</sup>.

Definió el rendimiento energético de un trabajador como la razón entre la producción y el consumo de éste, y afirmó que la riqueza de las naciones estaba basada en dicho rendimiento, una conclusión similar a la que llegó Podolinsky.

---

<sup>33</sup> Halló la cantidad de energía de que disponían los “salvajes”, los “nómadas”, los “agricultores” y “los habitantes contemporáneos de la Europa central” (Martínez, Schlupmann, 1991, p.90).

<sup>34</sup> Mientras que la utilización diaria de energía de las sociedades cazadoras en comercio y residencia (consumo exosomático) era de 2000 kcal por persona, en las sociedades con tecnología avanzada es de 66000 kcal (33 veces más). Por otro lado el gasto energético en alimentación (consumo endosomático) en el primer tipo de sociedad era de 3000 kcal per cápita, mientras que en el segundo es de 3500 kcal, apenas un 16.67% mayor. (Martínez, Schlupmann, 1992, p.92).

Tal como se planteó más arriba, algunas de las críticas y alternativas propuestas al enfoque económico estándar, vinieron desde fuera de la disciplina económica; en el siguiente cuadro se enunciarán algunas de las más destacadas de los siglos XIX y XX.

**Cuadro 1. CRÍTICAS Y APORTES PROVENIENTES DE FUERA DE LA DISCIPLINA ECONÓMICA**

AUTOR	PROFESIÓN	PRINCIPALES APORTES Y CRÍTICAS A LA TEORÍA ECONÓMICA
Patrick Geddes (1854-1932)	Biólogo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La economía estudiaba la producción material sin apoyarse en la Física aplicada, la Historia o la Antropología.</li> <li>- El concepto de utilidad neoclásica tenía un carácter metafísico, pero el valor de los bienes dependía de sus propiedades físicas intrínsecas</li> </ul>
Frederick Soddy (1877-1956)	Químico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Argumentó que la única riqueza real era la que provenía de la energía solar.</li> <li>- La riqueza financiera era confundida con la deuda, la cual podía crecer al ritmo de la tasa de interés compuesto, sin estar limitada por La Ley de la Entropía.</li> <li>- La inversión en la mayoría de casos sólo significaba el agotamiento de recursos no renovables.</li> <li>- Encontró que la elasticidad-ingreso del consumo endosomático de energía es cercana a 0, mientras que la del consumo exosomático se acerca a 1</li> </ul>
Lancelot Hogben (1895-1975)	Biólogo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los economistas neoclásicos no realizaban un estudio serio de las necesidades biológicas humanas en su formulación de las preferencias individuales reveladas.</li> <li>- Los economistas en general no consideraban a Las Leyes de la Termodinámica en el estudio de la asignación de recursos escasos.</li> <li>- El estudio económico homogeneizaba a todos los bienes y no consideraba la asignación histórico-geográfica de los recursos agotables.</li> </ul>
Lewis Gray (1881-1952)	Economista, Historiador Agrario	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La economía neoclásica estudiaba el ritmo de extracción de los recursos naturales en términos de preferencias individuales y temporales sin considerar factores sociales.</li> <li>- Planteó el tema de la equidad intergeneracional a través de la tasa de descuento.</li> </ul>
Leslie White (1900-1975)	Antropólogo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Afirmó que la cultura tenía como fin satisfacer las necesidades endosomáticas y exosomáticas de energía del hombre.</li> <li>- Definió el <i>output</i> o desarrollo cultural de una sociedad como el producto entre la cantidad de energía empleada en el proceso productivo y los medios tecnológicos utilizados.</li> </ul>

Fred Cottrell (1877-1948)	Físico-Químico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudió el proceso económico en términos de excedentes energéticos, para éste, la Revolución Industrial fue importante porque permitió complementar el trabajo humano con la energía inanimada de los combustibles fósiles.</li> <li>- A diferencia del enfoque neoclásico que le asignaba el papel principal al avance tecnológico en el crecimiento económico, para Cottrell las propiedades físicas de las fuentes energéticas eran el factor más relevante.</li> </ul>
King Hubbert (1903-1989)	Geofísico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En 1949 predijo acertadamente que el pico de extracción petrolera estadounidense estaba cerca (efectivamente se alcanzó en 1968).</li> <li>- Criticó a la economía en general por no distinguir entre riqueza real (que tenía un soporte físico) y riqueza de papel (generada por la deuda y la emisión de dinero).</li> <li>- Planteó que al ser el PIB una magnitud monetaria podía crecer indefinidamente, pero desligado de las Leyes de la Física, por lo que resultaba insuficiente desde una perspectiva biofísica de la economía.</li> </ul>
Howard T. Odum (1924-2002)	Ecologista	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrolló una metodología para representar las interacciones de los seres humanos con la naturaleza en términos de flujos energéticos.</li> <li>- Definió la calidad energética como la capacidad que poseía cada fuente de energía para generar productos con determinada cantidad de calor quemado.</li> <li>- Afirmó que la energía era la única generadora de valor, ya que se degradaba continuamente al salir del ciclo económico, mientras que el dinero permanecía circulando en su interior sin reflejar el aumento de entropía.</li> </ul>
Earl Cook (1908-1996)	Geólogo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Advirtió sobre el peligro que conllevaba la obsesión por el crecimiento económico en un entorno de recursos naturales limitados.</li> <li>- Argumentaba que, debido a la disminución de la calidad de los combustibles fósiles, la sociedad en general se encontraba en un momento crucial en el que debía elegir entre continuar con el modelo de crecimiento occidental (apuntalado en al avance tecnológico) o aceptar que existía un límite físico al crecimiento y replantearse sus valores y estilo de vida.</li> </ul>

Fuentes: (Cleveland, 1987), (Martínez-Alier y Schlupmann, 1991).

Entrando en la década de 1970, en su libro *La Ley de la Entropía y el Proceso Económico* Nicholas Georgescu-Roegen afirmó que Jevons, Walras y Pareto transformaron a la Economía Política en una ciencia hermana de la Mecánica, es decir, en una ciencia Físico-Matemática (Naredo, 1987, pp. 187-191); así, el proceso

económico se convirtió, según este enfoque, en un fenómeno circular autosustentable que siempre retornaría al punto de equilibrio al igual que muchos de los fenómenos mecánicos, esta epistemología mecanicista condujo a soslayar el papel fundamental desempeñado por los recursos naturales (especialmente los agotables).

Pero La Ley de la Entropía tiene un claro carácter antropomórfico, ya que es necesario conocer y comprender las necesidades humanas para distinguir entre materia-energía disponible y no disponible, y es dicho carácter el que le imposibilita al método analítico de la economía convencional realizar un análisis que integre a la economía con el entorno físico. Resulta entonces imperativo abordar el problema de la degradación entrópica de las actividades humanas, las cuales van en una sola dirección (la creciente disipación de energía), desde un enfoque contrario al movimiento pendular tan a menudo encontrado en el universo de la Mecánica.

Por esto resulta paradójico el esfuerzo de la económica clásica y neoclásica de igualar el mundo económico al mecánico, ya que tal esfuerzo supone aceptar que los procesos económicos son circulares y no afectan en nada a la materia y energía de su entorno; La Ley de la Entropía sustrae al proceso económico de los fenómenos mecánicos, esta Ley no predice en términos cuantitativos, se ocupa de la escasez, base teórica de la economía, y por lo tanto es indispensable para su análisis (Georgescu, 1975, p.98).

Georgescu planteaba que la tierra era un sistema termodinámico abierto a la entrada de energía, pero cerrado a la entrada de materiales; y por eso cuestionaba aquella creencia de que el mecanismo de sustitución planteado por los neoclásicos podía compensar cualquier posible escasez de tierra, energía o materiales con recursos creados por el capital.

El economista Británico Kenneth Boulding (1910-1993) en su obra *Análisis Económico de 1955*, definió a la función de producción neoclásica como: “...una función básica de transformación que muestra qué cantidades de entradas (factores) pueden ser transformadas en qué cantidades de salida (producto)”, luego agregó que dicha función

se asemejaba a una receta de cocina, que sólo describía las cantidades necesarias de cada “ingrediente” para obtener determinada cantidad de producto, pero no podía ir más allá. (Citado por Naredo, 1987, pp 291-292).

Con respecto a esta última afirmación, Georgescu señalaba que existían dos restricciones, a saber: *“la primera es la de que al decidir identificar un proceso por sus límites (inputs y outputs), implícitamente renunciamos a ocuparnos de describir lo que sucede dentro (y fuera) de esos límites [...] la segunda observación es la de que al decir que la duración de un proceso empieza en  $t_0$  y termina en  $t_1$  [...] hemos de hacer abstracción de lo que pueda haber sucedido en la realidad antes de  $t_0$  y de lo que sucederá después de  $t_1$ ”*. (Citado por Naredo, 1987, p. 292).

Las implicaciones de limitarse sólo a considerar los inputs y outputs del proceso económico, es que se excluye del análisis la continua generación de alta entropía que, como se ha visto, es inherente a cualquier actividad que implique un consumo de energía; y, por otra parte, se deja de lado el problema de la generación de residuos materiales (en ocasiones perjudiciales para la salud humana) que se derivan de algunas actividades económicas, y también se ignora el asunto del agotamiento de los recursos naturales.

Limitar un proceso a cierto intervalo de tiempo, supone ignorar las condiciones materiales, físicas, sociales y ambientales que lo generaron, así como las que se generarán a partir de éste; teniendo en cuenta que el subsistema económico se encuentra integrado a todos los demás subsistemas<sup>35</sup>, esto no resulta metodológicamente apropiado.

La evolución de la técnica ha demostrado ser la solución a diversos problemas de escasez que ha enfrentado la humanidad, y lógicamente la economía ha incorporado este hecho en su análisis, pero una vez más, el economista rumano advierte que dicho

---

<sup>35</sup> Es decir, a los subsistemas ambientales, sociales, culturales, entre otros.

fenómeno puede darse sólo dentro del espectro limitado que constituye nuestra reserva de recursos<sup>36</sup>.

No obstante, Georgescu contempló la posibilidad de que ciertos tipos de innovaciones podían ayudar a retrasar el proceso de degradación entrópica, entre ellos mencionó a las innovaciones sustitutivas, que son aquellas que permiten sustituir energía humana por energía físico-química; y a las innovaciones espectro, que son las que nos proporcionan nuevos bienes de consumo (Georgescu, 1975, p.105).

Cabe aclarar que a través de su obra era perceptible cierto pesimismo ante la posibilidad de una salvación de nuestra especie a través de la técnica, es así como en su citado artículo *Energía y mitos económicos*, afirmó que las causas que provocaban el fin de una especie, trabajaban de manera lenta pero incesante desde el primer momento en que dicha especie hacía su aparición (Georgescu, 1975, p.96).

En la siguiente sección de este capítulo, se estudiarán los aportes más recientes que se han realizado desde la economía ecológica para tratar de incorporar el tema energético y de los recursos naturales al estudio económico, debe quedar claro que tal incorporación no es de tipo marginal o “complementaria” tal como se puede observar desde la economía neoclásica, sino más bien se trata de un replanteamiento de las bases mismas de la metodología económica.

---

<sup>36</sup> Ya que el avance de la técnica no permite (por lo menos hasta ahora) la creación de energía o materiales a partir de la nada.

## 2.2. Propuestas teóricas y metodológicas para incorporar la energía y los recursos naturales al análisis económico

La crisis de los precios del Petróleo que se presentó a principios de la década de los setenta<sup>37</sup>, obligó a científicos de diversas disciplinas a cuestionar las hipótesis neoclásicas de crecimiento económico que postulaban que el avance tecnológico y la acumulación de capital serían sustitutos perfectos para los recursos naturales y energéticos agotables.

Los trabajos pioneros de Georgescu-Roegen, Boulding, Daly, Odum, entre otros; despertaron un renovado interés entre una nueva generación de economistas que se propusieron estudiar las relaciones entre la economía y el medio ambiente desde un enfoque interdisciplinar que trascendiera el simple análisis crematístico.

Desde diversos enfoques<sup>38</sup>, un número creciente de autores ampliaron el espectro de la investigación económica y dieron los primeros pasos para construir una integración entre economía y ecología<sup>39</sup>. El universo cerrado de los bienes de cambio creado por los clásicos, se estaba abriendo poco a poco al entorno físico que lo rodeaba, ya que la mencionada crisis demostró la dependencia que el sistema económico tenía de los recursos energéticos y la imposibilidad de un crecimiento económico sin estos era evidente.

Remar contra la corriente neoclásica que imponía sus ideas desde hace más de un siglo basada en el método científico del siglo XIX y en una serie de conceptos subjetivos (la utilidad por ejemplo), no era una tarea fácil, debido a la influencia que esta corriente ha ejercido sobre el poder. Pero una revisión del estado del arte de la

---

<sup>37</sup> En octubre de 1973 los países miembros de la OPEP comenzaron un recorte progresivo de la producción y prohibieron las exportaciones a EEUU y Los Países Bajos Como consecuencia de ello el precio del crudo se cuadruplicó entre octubre y diciembre de este año. Recuperado el 12 de enero de 2014 de: <http://debate.iteso.mx/numero%2022/Michelle%20Isabel%20Cesar/Michelle%20Isabel%20Cesar.pdf>.

<sup>38</sup> Algunos enfocados en la relación energía-economía, otros desde una perspectiva socio-política y otros más concentrados en estudiar el agotamiento de los recursos naturales y los niveles de contaminación producidos por las actividades económicas.

<sup>39</sup> La idea es dejar de ver al sistema económico como un sistema aislado del entorno físico para entenderlo como un subsistema que recibe energía, materiales y baja entropía de los ecosistemas y que a su vez le devuelve productos, desechos y alta entropía.

Economía Ecológica, permite comprobar que se ha avanzado en la búsqueda de la mencionada integración entre economía y ecología, y que las propuestas que se han estado gestando desde allí pueden ser determinantes en el futuro de las sociedades humanas en la medida en que el progresivo agotamiento de los recursos así lo imponga.

Continuando con el análisis de las propuestas generadas a partir de la década del setenta del siglo XX, el físico y economista estadounidense Robert Ayres llamó la atención sobre la inconsistencia del modelo económico cerrado y cíclico que se planteaba desde la economía estándar, éste sólo consideraba la Primera Ley de la Termodinámica, lo que le permitía afirmar que la cantidad total de energía permanecía constante (Cleveland, 1987, p.61). Al ignorar La Ley de la Entropía era incapaz de percibir el incesante incremento de energía disipada, la cual ya no estaría disponible para las actividades humanas.

Desde 1840, gracias a los aportes de Mayer, Helmholtz, Joule, Colding, entre otros; la energía se había convertido en el nuevo principio organizativo de la investigación en Física, a partir de ella era posible articular los conceptos de movimiento, luz, calor, electricidad y magnetismo (Mirowsky, 1989, pp.35-36). No obstante, treinta años después, los primeros autores neoclásicos no consideraron a la energía como un factor relevante dentro del proceso económico, más allá de la intención que desde siempre tuvo la Economía de emular a la Física.

Por otro lado, Hall y Klitgaard en su libro *Energy and the Wealth of Nations* (2012, p.96) afirmaban que aunque la producción de bienes y la acumulación de riquezas han sido asuntos centrales en la economía desde sus comienzos, el concepto de energía como factor clave en estos procesos simplemente no se consideró al interior de la disciplina y ésta casi siempre fue tratada como un commodity sustituible.

Añaden que los límites al crecimiento económico dentro de la teoría neoclásica han sido asumidos como internos al propio sistema económico: desbalances entre oferta y demanda, falta de liquidez, renovación insuficiente del capital, entre otros. El concepto

de límite externo o biofísico simplemente no ha sido tratado (Hall y Klitgaard, 2012, p.96).

Cabe resaltar el hecho de que las principales teorías neoclásicas fueron desarrolladas en una época en que las reservas de hidrocarburos se encontraban en la pendiente ascendente de la curva de Hubbert<sup>40</sup>, caracterizada por un incremento enorme de la disponibilidad energética y un declive en los costos de extracción (Hall y Klitgaard, 2012, p.102).

En el contexto de las abundantes reservas de combustibles fósiles de la década de 1870 (época en que se publicaron los primeros trabajos de la escuela neoclásica) era quizás comprensible esta postura; lo que resulta difícil de entender es que ciento cuarenta años después, los modelos económicos neoclásicos se sigan construyendo a partir de los mismos supuestos<sup>41</sup>.

Ayres (1978) continuaba su crítica al modelo económico neoclásico argumentando que éste no tenía en cuenta el hecho de que a medida que la calidad de los recursos naturales decrecía, la tasa de explotación de estos debía aumentar para poder mantener el nivel de vida que dicho modelo promovía.

La importancia del análisis radicaba en la distinción cualitativa que el autor hacía de las diferentes fuentes de recursos y energía utilizadas como insumos del proceso económico. A medida que los depósitos de mayor neguentropía<sup>42</sup> se agotaban, era necesario recurrir a fuentes energéticas y materiales de más alta entropía (o en otras palabras, con menos energía disponible) y que por tanto demandaban más energía para su extracción y procesamiento (Cleveland, 1987, p.62).

Posteriormente en 2005, trabajando en conjunto con Warr, Ayres incorporó a su análisis el concepto de exergía<sup>43</sup>. Al considerar la cantidad de energía convertida en

---

<sup>40</sup> La cual fue descrita en la sección 2.1

<sup>41</sup> Es decir, bajo el esquema neoclásico el consumo de cada individuo sólo está limitado por su propia restricción presupuestaria, no se consideran las limitaciones físicas de recursos naturales y energía.

<sup>42</sup> O entropía negativa, es el proceso inverso a ésta en donde se pasa del desorden (alta entropía), al orden (baja entropía). (Georgescu-Roegen, 1996, p.482)

<sup>43</sup> La exergía es el parámetro que permite determinar la calidad de la energía, a través de éste se puede cuantificar la eficiencia de las distintas fuentes energéticas; en otras palabras es la medida del trabajo útil que se puede

trabajo les fue posible conocer la verdadera eficiencia de cada fuente energética empleada en el proceso productivo (Manrique, 2008, p.284).

Ayres y Warr analizaron el crecimiento económico estadounidense en el siglo XX a partir del modelo *Resource Exergy Service* (REXS) y encontraron que no era la energía como *input* la que contribuía al crecimiento económico, sino que era aquella que se convertía en trabajo útil (exergía) en su interacción con el trabajo y el capital la que lo hacía (Ayres & Warr, 2004, p.181).

Para llegar a esta conclusión comenzaron por plantear una función de producción con tres variables independientes: capital (K), trabajo (L), y Energía (X). La función presentaba rendimientos constantes a escala, era lineal y homogénea de grado uno; esto implicaba que las variables individuales poseían rendimientos decrecientes (Ayres y Warr, 2009, p.175). La función tenía la siguiente forma:

$$Y = F(K, L, X)$$

En el modelo se asumía que las cuatro variables eran interdependientes y estaban cointegradas en el largo plazo, ya que en el corto plazo existía la posibilidad de que factores externos pudiesen influir <sup>44</sup>(Ayres y Warr, 2009, p.175).

Reconocían que dicho modelo presentaba ciertas imprecisiones, por ejemplo, una función de varias variables, continua y dos veces diferenciable permitía que a través de cualquier combinación de los factores se produjera un resultado (en este caso un producto). Esto implicaba que, en teoría, cualquiera de las variables podía ser sustituida por las otras dos (Ayres y Warr, 2009, p.177).

Encontraron evidencia de que las variables (sobre todo el capital y la exergía) eran complementarias entre sí, por lo que se requerían proporciones cuasi fijas de cada factor para poder producir; esto resultaba inconsistente con la función Cobb-Douglas, ya que al ser ésta una función continua y dos veces diferenciable, es teóricamente

---

extraer de una determinada cantidad de energía. Recuperado el 9 de agosto de 2014 de: <http://gpinch.sourceforge.net/pinch/node52.html>

<sup>44</sup> Tales como: desastres naturales, revoluciones, o políticas fiscales y económicas.

posible aplicar cualquier combinación en la proporción de los factores (Ayres y Warr, 2009, p.179).

Por lo tanto replantearon la función Cobb-Douglas incluyendo el factor energía (E):

$$Y = A(t)K^\alpha L^\beta E^\Gamma$$

Con:  $\alpha + \beta + \Gamma = 1$  (por el supuesto de los rendimientos constantes).

Posteriormente reemplazaron la energía por el trabajo útil (U) con el fin de explicar el avance técnico en términos de K, L y U. Llegando a la siguiente expresión:

$$A(t) = K^{-\alpha} L^{-\beta} U^{\alpha + \beta} \exp [ab - 2a + a(L+U)/K - ab/LU]$$

Esta ecuación les permitió concluir que A (t) (el factor de avance técnico) estaba más fuertemente influenciado por el trabajo útil (U) que por el capital (K) o el trabajo (L). Y como (U) era el producto de la exergía disponible dada la eficiencia de la fuente energética empleada (Ayres y Warr, 2009, p.184). Esta reformulación del modelo permitía explicar el avance técnico como resultado de la cantidad de energía utilizada y la eficiencia de la fuente energética empleada.

Ayres y Warr sabían que la economía era multisectorial, las firmas competían con otras firmas dentro de su propio sector, pero no lo hacían con las de otros sectores; este supuesto implicaba la no sustituibilidad entre sectores, pero no excluía la posibilidad de que en el corto plazo, los insumos genéricos (capital, trabajo, energía y trabajo útil) pudieran sustituirse, aunque en un pequeño rango (Ayres y Warr, 2009, p.181). Lo que era diferente a la posibilidad de sustitución perfecta entre factores planteada en la economía neoclásica.

Por lo anterior concluyeron que una relación funcional entre capital, trabajo, energía y trabajo útil era una representación adecuada del mundo real, por lo menos para el propósito de explicar el crecimiento económico (Ayres y Warr, 2009, p.181).

Herman Daly afirmaba que el enfoque en los flujos monetarios por parte de la economía estándar y su aislamiento respecto a la Termodinámica, le llevaba a plantear

la posibilidad de un crecimiento económico perpetuo basado en el avance tecnológico (Cleveland, 1987, p.63).

Daly criticaba la representación circular de la economía de los libros de texto en la que los flujos monetarios iban de las firmas a los hogares y de éstos a aquellas en un movimiento que se retroalimentaba sin reparar en el entorno físico. Éste argumenta que dichos movimientos circulares estaban ligados a un flujo de energía, que a diferencia de éstos, tenía una tendencia lineal, en la que la baja entropía disminuía incesantemente (Cleveland, 1987, p.63).

Por tanto abogaba por la instauración de un *estado estacionario* en el que tanto la población, como el “stock” de capital, permanecieran constantes; a lo anterior cabría afirmar con Georgescu-Roegen que incluso en una economía de este tipo, la degradación de energía seguiría su marcha, ya que un medio ambiente con recursos finitos no puede albergar indefinidamente ni un crecimiento sostenido, ni tampoco un crecimiento cero<sup>45</sup>. Esto debido a que la tierra es un sistema cerrado a la entrada de materiales y el estado estacionario implica indefectiblemente el consumo de éstos.

Para Hall y Klitgaard (2012, p.106) el propósito de la economía biofísica (o economía ecológica como se define en este trabajo), consiste en tratar de entender un mundo cada vez más dependiente de unos combustibles fósiles con tasas de agotamiento creciente, y en el cual el crecimiento económico sigue siendo el principal objetivo.

Por otra parte, Toman y Jemelkova (2003) en su artículo: *Energy and Economic Development: An assessment of the State of the Knowledge* afirmaban que el desarrollo energético, interpretado *grosso modo* como el incremento en la disponibilidad y el uso de los servicios energéticos, era una parte integral del desarrollo económico como un todo. Llegaron a la conclusión de que en las sociedades avanzadas la proporción de uso energía/producto ha declinado con el paso del tiempo, lo que al parecer se debe a la utilización de fuentes energéticas más eficientes.

---

<sup>45</sup> Georgescu-Roegen afirma que la confusión se genera por no comprender bien la diferencia entre stock finito y circulación finita (1975, p.109).

Sostenían, que a pesar del uso más eficiente de energía, el consumo total ha seguido aumentando y en los países en desarrollo ha crecido a una tasa más alta de lo que lo han hecho los ingresos (Toman y Jemelkova, 2003, p.94). Esto podía deberse al llamado efecto rebote: a medida que el avance tecnológico permite fabricar determinado bien con un consumo de energía menor, el precio de éste desciende, lo que motiva el aumento de su demanda, con lo que la energía total consumida en la fabricación de dicho bien aumenta.

Un punto interesante de su análisis es que reconocen que además de lo concerniente a la energía, el desarrollo económico comprende otros factores que no involucran el aspecto energético (educación, instituciones, mercado laboral, sistema de salud, etc.) que también deben ser tenidos en cuenta (Toman y Jemelkova, 2003, p.94). Con esto logran escapar al *reduccionismo energético* (en palabras de Martínez- Alier), ya que las sociedades humanas están compuestas sin duda por mucho más que flujos energéticos.

Su investigación buscaba demostrar como el incremento de la cantidad de energía disponible podía estimular en una proporción mayor a dicho incremento el desarrollo económico, es decir, pretendían demostrar que la cantidad de energía disponible era un factor relevante del crecimiento económico.

Teniendo en cuenta los persistentes debates acerca del rol de la energía en la producción y de su grado de sustitución por capital, los autores plantearon un modelo simple que trataba de mostrar como el incremento en la energía disponible influía en el desarrollo económico, la función tenía la siguiente forma:

$$Y = F(K_y, H_y, E) \quad (1)$$

$$E = E(K_e, H_e) \quad (2)$$

$$H = G(K_h, L) \quad (3)$$

Donde (Y) representaba la cantidad final de bienes y servicios producidos;  $K_y$  y  $H_y$  representaban la aplicación de capital físico y humano para la producción de (Y); y (E) era un factor intermedio que representaba la provisión de servicios energéticos.

Reconocían que el modelo presentaba algunas omisiones como la influencia de otros bienes intermedios en el producto final, el cambio tecnológico y la producción de residuos junto a los bienes finales (Toman y Jemelkova, 2003, p.100).

Una suposición estándar de la teoría del crecimiento es que la función de producción es homogénea de grado 1, es decir, si todos los insumos de producción crecen a determinada proporción, entonces el producto crecerá en esa misma proporción; en cambio si es sólo un factor el que crece a determinada tasa, el producto final también crecerá, pero a una tasa menor.

Si se asume en (2) que un incremento de  $x\%$  de los insumos resulta en un incremento de los servicios energéticos mayor a  $x\%$ , se puede concluir que un incremento en los factores de  $x\%$  derivará en un crecimiento económico mayor a ese porcentaje gracias a la expansión en los insumos energéticos intermedios. Es decir, dados rendimientos energéticos crecientes, se puede disminuir la proporción de los otros factores en la producción con un empleo mayor de energía.

Esta es una característica de las economías industriales modernas, que presentan rendimientos crecientes a escala a nivel tecnológico y energético (Toman y Jemelkova, 2003, p.99). En otras palabras, la productividad marginal de la energía es creciente, aunque la magnitud de los rendimientos crecientes probablemente caiga con el paso del tiempo.

Otro enfoque consiste en redefinir (1) como sigue:

$$Y = F(A_k * K_y, A_H * H_y, E) \quad (4)$$

Donde  $A_k$  y  $H_y$  son los términos de “factor de aumento” (multiplicadores que indican como los flujos efectivos de estos insumos pueden ser aumentados por otros factores), la teoría estándar de crecimiento ha atribuido el crecimiento de estos términos a la investigación y el desarrollo, la educación y la provisión de bienes públicos. También es posible que un aumento en el uso de energía produzca los mismos efectos, éste incremento no se refiere únicamente a la cantidad de energía usada, sino también a una mejor calidad de la energía usada.

Para mostrar este efecto, reescribieron la ecuación (1):

$$Y = F(Ky, Hy, E_i, E_n) \quad (5)$$

$$E = E(K_{ei}, H_{ei}), i=1, \dots, n. \quad (6)$$

Donde  $i$  representaba los diferentes tipos de energía utilizados.

Encontraron que los aumentos en la eficiencia energética se veían reflejados en los países industrializados en el aumento de la productividad y en los países en desarrollo a través de la reconversión de las labores domésticas principalmente. Los servicios energéticos también contribuían al mejoramiento de la salud y el bienestar de los trabajadores, lo que redundaba en el aumento de su productividad. Además los autores aseveraban que para países en distintas etapas de desarrollo, la mayor disponibilidad y eficiencia energética debía complementarse con mejoras en la infraestructura (Toman y Jemelkova, 2003, p.101).

A continuación se describen algunos canales (p.102) a través de los cuales, Toman y Jemelkova sostenían que se podían lograr rendimientos crecientes e impactar el desarrollo económico. Entre ellos vale la pena destacar:

- La redistribución del tiempo en el hogar hacia labores menos intensivas energéticamente hablando (educación y generación de ingresos)
- La posibilidad de aprovechar economías de escala en la provisión energética a nivel industrial
- Los costos de transporte y comunicación más bajos como resultado de la combinación de energía e inversiones en infraestructura.

Según la conclusión a la que llegaron los autores, los modelos económicos se deben construir en forma tal que reflejen las realidades estructurales e institucionales de las economías en desarrollo; aunque debido a la multiplicidad de factores que afectan el

desarrollo económico de un país<sup>46</sup>, resulta difícil discernir la real influencia del uso de la energía sobre éste.

Aunque el modelo que plantearon posee algunas deficiencias ya antes mencionadas, resulta ser más completo que los que tradicionalmente se postulan desde la teoría económica estándar; ya que incluye a la energía, la disgrega según la calidad de las distintas fuentes usadas y además busca vincularla a otros factores de tipo social, entendiendo que estos también influyen en el crecimiento económico de un país.

El realizar un análisis cuantitativo y cualitativo de las fuentes energéticas utilizadas en determinada actividad económica, permite conocer el impacto de cada una de ellas, en términos productivos, sociales y ambientales, además de la tasa de agotamiento de sus reservas; este tipo de información resultaría relevante al momento de diseñar las Políticas económicas de un Estado, más allá de simplemente fijar metas acerca de la tasa de crecimiento del PIB y dejar la gestión de las fuentes energéticas en manos del Mercado.

Por otra parte, John Peet, de la Universidad de Canterbury en Nueva Zelanda, planteaba algunas críticas interesantes a la economía convencional y al trato marginal que en su análisis se le daba a la energía y a los recursos naturales. Comenzaba describiendo el proceso productivo de la economía convencional de la siguiente manera:

*“Producción es la creación de un bien o servicio que la gente comprará. Materiales de bajo valor son transformados por el proceso productivo en algo de alto valor, donde el valor es determinado por el precio que las personas pagarán en el mercado. El carbón en la tierra o el agua en el lago en la montaña no tienen “valor” hasta que potencialmente o realmente son transformados en algo (el carbón liberado para una fábrica o la electricidad transmitida a un medidor).”*  
(Peet, 1992, p.57)

---

<sup>46</sup> Factores de tipo cultural, social, religioso, institucional. Ya que por más fuentes energéticas de que disponga un país o una región, es muy difícil que consiga el desarrollo económico si carece por ejemplo de un sistema de salud apropiado, de universidades de calidad, o de un Banco Central sólido.

Esta concepción del proceso productivo sólo considera los valores de cambio de los bienes, dejando al margen todos los servicios necesarios para la vida que prestan los ecosistemas y a los que no es posible asignárseles un precio<sup>47</sup>.

La estrategia de la economía neoclásica, afirmaba Peet, consistía en resolver los problemas ambientales a través del mercado. Para conseguirlo se basaba en tres principios fundamentales: la soberanía del individuo; la santidad de la propiedad privada; y la preponderancia del interés presente sobre el futuro<sup>48</sup> (Peet, 1992, p.60).

La estructura neoclásica depende de circunstancias que rara vez se presentan en el mundo real, como la existencia de una competencia perfecta, de recursos ilimitados y sustituibles y de rendimientos constantes a escala (Hall y Klitgaard, 2012, p.117). Por lo que surgen dudas acerca de la efectividad del mercado para resolver dichos problemas ambientales.

Más aún cuando el mercado es incapaz de valorar la demanda de las generaciones futuras por los recursos agotables, dada la imposibilidad de que éstas puedan pujar por determinado bien.

En cuanto a la relación entre consumo de energía y crecimiento económico (E/PIB), Peet (1992, p.67) cita los trabajos de Goldemberg et al (1988); Patterson (1989) y Bertram (1990), quienes encontraron que dicha relación era menos directa que lo que antes se pensaba. Esto, según el autor, se debía principalmente al desplazamiento hacia otras fuentes energéticas más eficientes, como el caso del gas natural en Europa y al avance tecnológico en algunos sectores energéticos<sup>49</sup>.

El autor es enfático al afirmar que la interacción entre energía y materia es la base de la vida misma, y que la economía (tanto neoclásica como marxista) comete un grave error al pretender que todos los procesos importantes para las actividades humanas se

---

<sup>47</sup> Como ejemplos podemos citar los servicios que nos prestan la capa de ozono, la selva amazónica o la luz solar. Sin su aporte no sería posible la vida tal como la conocemos, sin embargo, dada la imposibilidad de asignarles un precio, son marginados del estudio económico convencional.

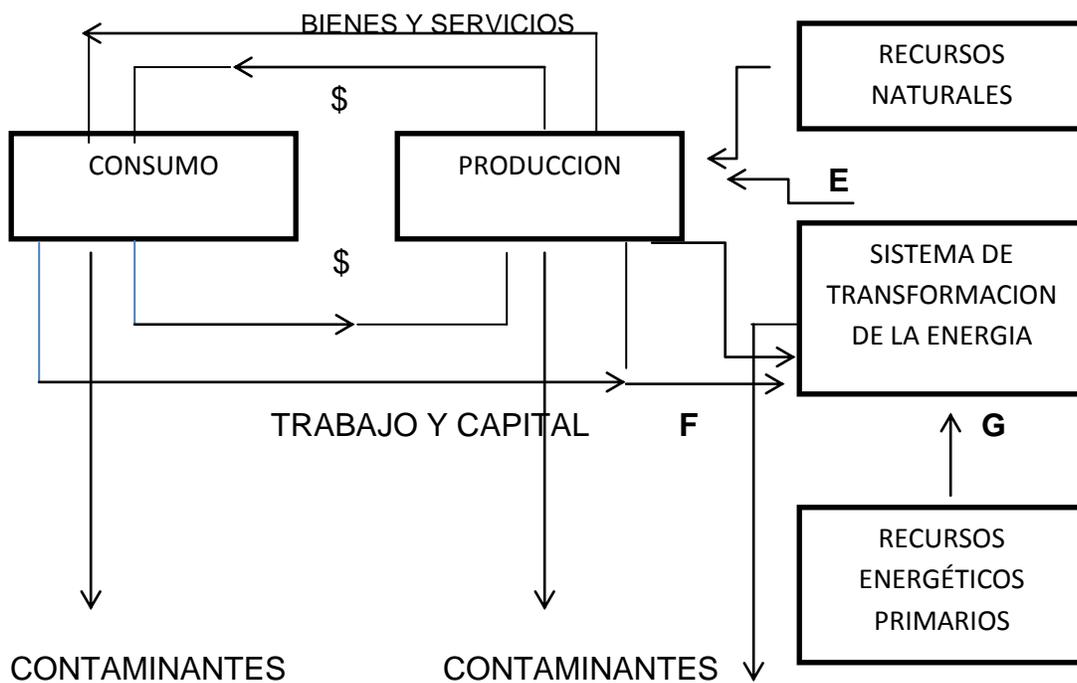
<sup>48</sup> Lo que se traduce en una tasa de descuento alta.

<sup>49</sup> No obstante, debemos tener presente que dichos avances en la eficiencia están aplicados a unos recursos materiales y energéticos finitos, por lo que su aporte al crecimiento económico es limitado y dependen de la existencia de estos.

encuentran circunscritos a ella, ya que ignora el hecho de que la economía se encuentra inmersa (y depende para su subsistencia) de un entorno físico (Peet, 1992, p.84).

El cuadro 1 es una representación que Peet hace del modelo biofísico construido por Martha Gilliland (PhD en Ingeniería Ambiental y Ecología de Sistemas de la Universidad de Florida); en éste, el proceso de transformación energética se representa de manera separada respecto al de la producción. Dentro de ésta puede distinguirse el modelo tradicional de la economía representado por la relación de consumo-producción a la izquierda, pero aquí está conectado con el entorno físico; cabe resaltar también la presencia de los contaminantes generados por la producción, el consumo y la transformación de energía, ausentes en el modelo tradicional.

**Ilustración 1: Suministro energético de la economía**



Fuente: (Peet, 1992, p.88)

En la gráfica, **G** representa la energía bruta extraída de las fuentes naturales. **E** son los flujos de combustibles y electricidad consumidos por la economía después de ser

refinados y transformados, y **F** es la energía incorporada en los bienes y servicios que ayudan a la transformación de la energía (ésta fluye del sistema económico al sistema energético).

El sistema continuará en funcionamiento mientras **E** sea mayor que **F**, es decir, mientras exista un flujo energético neto positivo hacia la economía. Se puede concluir que este sistema circular de la economía en donde la producción y el consumo se dinamizan mutuamente, es inoperante sin un influjo de energía proveniente del entorno físico.

Durante las primeras etapas de crecimiento biológico de un organismo (al igual que en las sociedades)<sup>50</sup>, la mayor parte del flujo energético que ingresa al sistema se usa para apuntalar dicho crecimiento, a medida que el organismo crece, la energía que ingresa a él se utiliza en mayor medida para mantenerlo funcionando (Peet, 1992, p. 103). Esto indica que aún en un estado estacionario (como el propuesto por Daly) el proceso de disipación de energía seguirá su curso.

Pero la función de producción neoclásica es más un modelo de distribución que uno de producción, ya que no requiere ningún insumo físico, sino que describe un simple intercambio de insumos existentes entre las firmas (Hall y Klitgaard, 2012, p.133). Por lo que sólo la parte izquierda del cuadro anterior es considerada en la enseñanza económica convencional.

Dado el carácter finito de las reservas materiales y energéticas, cuando el uso de uno de ellos crece a una tasa exponencial, sus reservas disminuirán también a una tasa exponencial. En este caso la técnica únicamente puede retrasar el agotamiento, pero no puede evitarlo. Ya que como afirma Peet (1992, p. 92), existe un mínimo absoluto de energía necesaria para llevar una tonelada de carbón a la superficie, y esto es absolutamente inalterable por la tecnología, por tanto, debido la Segunda Ley de la Termodinámica, esta acción indefectiblemente incrementará el nivel de entropía.

---

<sup>50</sup> Peet plantea una analogía entre la Sociedad y la Naturaleza para plantear que los sistemas sociales y económicos funcionan de manera similar a los organismos biológicos.

El autor aboga por una economía controlada desde una Política con Instituciones Socioeconómicas que cumplan la misma función que un francobordo en un buque<sup>51</sup>, donde las metas de crecimiento sean trazadas teniendo en cuenta la capacidad del medio ambiente; propone además que los costos ambientales sean internalizados para que el aumento en los precios que éstos provoquen motive una mayor conciencia ecológica (Peet, 1992, p.221).

Basado en el modelo presentado en la ilustración 1, recomienda que el sistema económico neoclásico se articule al sector energético para que pueda representar de manera más realista la interacción entre la economía y el entorno biofísico.

No concluye que los indicadores económicos actuales deban abolirse, más bien propone complementarlos con otros de carácter biofísico, por ejemplo, los niveles de consumo energético o de emisión de CO<sub>2</sub> generados por determinada actividad económica. En otras palabras, se refiere a una integración entre economía y ecología (Peet, 1992, p.223).

Se puede cerrar el análisis de su trabajo con algunas recomendaciones de carácter político que formula, las cuáles evidencian las diferencias existentes entre su análisis y el de la economía neoclásica: La venta de derechos de contaminación a precios crecientes; las restricciones legales directas a la contaminación individual; tasas impositivas para los combustibles fósiles y la rendición de cuentas de cada Gobierno ante la Comunidad Internacional (Peet, 1992, p.228). En otras palabras, propone pasar de una economía individualista a una de un carácter más direccionado desde una autoridad central.

### **2.3 Indicadores alternativos para complementar aquellos propuestos desde la economía estándar**

El Producto Interno Bruto (PIB), representa para la economía un índice de bienestar, y conseguir su crecimiento es el objetivo de prácticamente todos los gobiernos en el

---

<sup>51</sup> El francobordo tiene por objeto fijar cuál es la máxima carga que puede cargar un buque sin arriesgar su flotabilidad

mundo. Desde la economía ecológica se plantea que dada su característica de reducirlo todo a términos monetarios, el PIB deja por fuera varios aspectos importantes que afectan tanto las actividades económicas, como al medio ambiente.

En el análisis neoclásico, el PIB se construye a partir de la respectiva contribución de los factores (trabajo, capital, avance tecnológico y energía) a la generación de riqueza física en la función de producción, y esta contribución depende del precio de cada factor. Así la importancia de la energía como generadora de riqueza está directamente relacionada con su costo de producción (Hall y Klitgaard, 2012, p.135).

Y ya que los costos energéticos sólo representan entre el 5 y el 6% de los costos totales de producción<sup>52</sup>, se asume que esta es la participación de la energía en el PIB (Hall y Klitgaard, 2012, p.135). Y por tanto desde el enfoque económico convencional, la energía juega un papel secundario.

Así como margina a la energía, el PIB tampoco considera la disparidad en la distribución de la riqueza entre países, tampoco si su crecimiento es sustentable o no; la extracción y el consumo de recursos no renovables son contabilizados de forma positiva (Ayres y Warr, 2009, p.134), además deja de lado el trabajo no remunerado, incluyendo al doméstico y al voluntario.

Cuando se trata de capital creado por el hombre, se puede destinar una parte del ingreso para reponer dicho capital y garantizar así el consumo futuro; esto no es posible cuando se trata del capital natural, no se puede recuperar completamente un ecosistema degradado, o reabastecer un pozo petrolero agotado<sup>53</sup>. Lo paradójico es que estos dos fenómenos (claramente negativos) son tomados como un ingreso en el cómputo del PIB (Martínez y Roca, 2000, p.74).

Para los defensores de la posibilidad de un crecimiento continuo, el crecimiento y la eficiencia tecnológica se retroalimentan, lo único que se requiere es que el aumento en

---

<sup>52</sup> Esto se debe a que sólo contabilizamos los costos de extracción y explotación de los recursos energéticos, la naturaleza se encarga del proceso de producción (que en ocasiones tarda millones de años) y el cual no es contabilizado.

<sup>53</sup> En el caso de que esto fuera posible, de todos modos sería necesario invertir cierta cantidad de energía en el proceso, lo que contribuiría a aumentar la entropía del sistema.

la eficiencia sea mayor a la escala del crecimiento y que exista la posibilidad de sustituir aquellos factores que se tornen escasos (Dasgupta y Heal, 1974).

Pero la evidencia muestra que el impacto ambiental de las actividades humanas es cada vez mayor y que debido al aumento de la población y un mayor poder adquisitivo en países superpoblados como India y China, (sólo por citar los dos ejemplos más sobresalientes), se viene presentando un aumento constante en el consumo de recursos y energía.

El PIB incluye también lo que se conoce como “gastos defensivos”, que son los realizados para mitigar o compensar los daños ocasionados por una actividad económica, por lo que según la metodología actual<sup>54</sup>, el gasto dedicado a, digamos, descontaminar una costa después de un derrame de petróleo, contribuye al crecimiento económico de un país y por tanto al bienestar social (Martínez y Roca, 2000, pp 78-80; Ayres y Warr, 2009, p.134).

Este tipo de contradicciones y omisiones son las que plantean la necesidad complementar los indicadores de carácter monetario (como el PIB y el PNB), con otros indicadores que involucren variables no susceptibles de reducirse a términos monetarios.

El MIPS (Input material por unidad de servicio), es un indicador propuesto por el Instituto del clima, el medioambiente y la energía de Wuppertal (Alemania) que suma todos los materiales (en toneladas) utilizados directa e indirectamente para cada unidad de servicio, contempla todo el ciclo de vida del producto, incluyendo los desechos y el reciclaje.

Algo interesante de este indicador es que, además de considerar los flujos materiales directos que se intercambian como mercancías (madera, petróleo, autos, etc.), también considera los flujos indirectos u ocultos, por ejemplo la erosión del suelo ocasionada en cierta actividad o el material removido en la explotación de una mina de carbón.

---

<sup>54</sup> Implementada por el marco macroeconómico Keynesiano después de la Segunda Guerra Mundial impulsado por el Banco Mundial, el FMI, entre otros. (Martínez-Alier y Roca, 2000, p.66)

También contempla los flujos directos e indirectos importados de otros países (Martínez y Roca, 2000, p.416).

El MIPS compara la cantidad de insumos en toneladas consumidas con la cantidad de unidades de servicios producidas, en cuanto menor sea el índice, menores serán los requerimientos materiales por unidad de servicio. Cabe aclarar que el MIPS puede descender al tiempo que los recursos materiales se agotan; este caso puede darse cuando la demanda de unidades de servicio se incrementa en mayor proporción a los insumos utilizados, lo que implica que la demanda de materiales en términos absolutos crezca.

Este indicador sólo mide los consumos en toneladas y no desagrega los impactos ecológicos de cada una de las actividades. Por tanto resulta necesario complementarlo con otros indicadores.

El EROI (Rendimiento energético de la inversión), mide la proporción de combustible bruto requerida (directa e indirectamente) para producir una unidad de combustible útil para las actividades humanas, éste se comenzó a emplear en la década de 1970 a partir de los trabajos sobre energía neta de Howard Odum, su utilización decayó entre 1984 y 2005 y retomó fuerza después de 2008 (Hall y Klitgaard, 2012, p.311). Puede definirse de la siguiente manera:

**EROI:** Energía retornada a la sociedad / Energía requerida para obtener dicha energía (Hall y Klitgaard, 2012, p.310).

Cualquier proceso generará un excedente energético siempre y cuando su EROI sea mayor al *ratio* 1:1; en otras palabras, si la energía que libera es mayor que a la energía invertida en dicho proceso. Pero en ocasiones los determinantes del denominador son muy poco comprendidos y pobremente cuantificados, por lo que la mayoría de EROI publicados aparecen más altos de lo que en realidad son (Hall y Klitgaard, 2012. P.312).

Es por ello que estos autores proponen un EROI extendido (EROI ext) que incluya la energía necesaria no sólo para obtener, sino también para usar una unidad de energía. El cuál se define de esta forma:

EROI ext= Energía retornada a la sociedad / Energía requerida para obtener, entregar y usar dicha energía

Este último es más completo ya que además de contemplar la energía invertida en la obtención de una fuente energética, también contabiliza la energía necesaria para entregar y usar dicha energía.

Hall y Klitgaard (2012, pp.318-319) calculan un mínimo EROI ext de 3.3:1 sólo para mantener un nivel “mínimo” de avance social en términos energéticos; no consideran otras actividades necesarias para la sociedad, como el arte, la medicina, la educación, entre otras, por lo que en realidad este *ratio* debe ser mayor, un cálculo preliminar de los autores habla de un *ratio* aproximado de 10:1.

El panorama actual de crecimiento demográfico, mayor consumo de bienes y crecimiento económico, obliga a que este índice tenga que ser cada vez más alto. Pero a medida que los recursos energéticos escaseen, los costos de extracción, transporte y uso de la energía serán cada vez mayores, por lo que el EROI ext tenderá a caer.

Este es un indicador relevante en la medida en que contempla la eficiencia energética del proceso productivo, pero por sí solo no dice mucho acerca de los impactos ambientales de los diferentes tipos de fuentes energéticas empleadas ni de la naturaleza renovable o no renovable de las mismas; por lo que se hace necesario, al igual que con el indicador anterior, complementarlo con otro tipo de índices.

La Huella ecológica es uno de los principales indicadores para medir el impacto que las actividades humanas tienen sobre el planeta, “*Mide cuánta área de la tierra y del agua requiere una población humana para producir el recurso que consume y absorber sus desechos usando la tecnología prevaiente*”.<sup>55</sup> Se puede determinar a escala individual (hectáreas necesarias por persona), por país, región o a nivel mundial.

---

<sup>55</sup> Recuperado el 14 de enero de 2014  
de:[http://www.footprintnetwork.org/es/index.php/gfn/page/footprint\\_basics\\_overview/](http://www.footprintnetwork.org/es/index.php/gfn/page/footprint_basics_overview/)

Las mediciones realizadas han determinado que si todos los habitantes del planeta adoptaran el modo de vida del estadounidense promedio, se requerirían por lo menos cinco planetas similares a la Tierra para sostener dicho patrón de consumo (Hall y Klitgaard, 2012, p352).

Los indicadores económicos tradicionales (el PIB, el PNB, La Balanza de pagos, la Tasa de Inflación, el PIB per cápita, etc.) por sí solos no permiten llegar a este tipo de conclusiones, por lo que resulta evidente la necesidad de complementarlos con este tipo de indicadores que se acaban de observar.

Es posible replantearlos de manera que puedan brindar lecturas más completas de la actividad económica, Hall y Klitgaard (2012, p.360) recomiendan algunos indicadores, entre ellos se pueden destacar: **El PIB/unid de energía o agua o la Producción agrícola/unid de energía o fertilizante**; complementándolos con indicadores conocidos como el Índice de Gini, La deuda externa, la IED, etc; lo cual es un ejemplo de integración entre economía y ecología, que por otro lado, con la información disponible en la actualidad, no es imposible de construir.

También sugieren definir claramente los requerimientos energéticos y materiales necesarios para cumplir con los planes de crecimiento económico diseñados por los gobiernos, además de la utilización de herramientas informáticas para pronosticar los cambios en el uso de la tierra y en las tasas de crecimiento demográfico (Hall y Klitgaard, 2012, p.362).

En algunos países europeos se llevan cuentas en términos físicos de los recursos y sus variaciones (“stock” de metros cúbicos de madera, cantidad y calidad de la tierra agrícola, niveles de agua en los acuíferos, etc.); también se han adelantado intentos de contabilizar la biodiversidad, existen así mismo cuentas de emisiones de CO<sub>2</sub>, de NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, de producción de residuos, entre otros (Martínez y Roca, 2000, pp.81, 82).

Lo que se pretende mostrar a través de estos ejemplos es que se deben analizar una gran variedad de estadísticas físicas que complementen y suplementen la contabilidad macroeconómica, sin importar que éstas deban expresarse en unidades distintas. Aquí

la economía ecológica se aleja de la obsesión por la conmensurabilidad crematística que caracteriza a la economía neoclásica.

La macroeconomía actual no está diseñada para estudiar una economía sin crecimiento, pero algunos autores desde la economía ecológica (Daly, 1972) han propuesto como meta alcanzar una economía estacionaria que se mantenga con flujos de materiales y energía menores a la capacidad regenerativa de los ecosistemas; empero, en palabras de Daly, la economía es analfabeta ecológicamente hablando.

Se carecen de modelos que contabilicen nuestra dependencia económica de variables ecológicas, ya que todos están basados en el crecimiento y las funciones de producción (la Cobb-Douglas por ejemplo) y no hacen ninguna referencia explícita a la base material o ecológica de la economía.

Otro aspecto que se pide replantear desde la economía ecológica<sup>56</sup> es la excesiva obsesión con la productividad. Aquellas economías conocidas como economías “cenicienta” (doméstica, comunitaria, solidaria, etc.) normalmente son menos productivas, pero también son menos intensivas en términos energéticos y de materiales y causan un menor impacto ambiental, por lo que deberían promoverse e incluirse en la contabilidad macroeconómica.

Si suponemos un solo factor de producción: el Trabajo, entonces el producto estaría generado por:

$$Y = PMGL \times L$$

Donde:

L= Total de mano de obra empleada

PMGL= Productividad marginal del trabajo.

De esta sencilla ecuación se puede inferir que no es necesario el crecimiento incesante de la productividad para aumentar el producto, también se puede lograr a través de un incremento en los niveles de empleo.

---

<sup>56</sup> Principalmente desde la Escuela del Decrecimiento.

Pero este aumento en el nivel de ocupación debe darse sobre la base de una repartición sistemática y equitativa de los puestos de trabajo entre la Población económicamente activa (PEA), será necesario reducir la jornada laboral con el objeto de aumentar la demanda por mano de obra.

Se requiere una economía menos obsesionada con el crecimiento a través del consumo de bienes y servicios, y más enfocada a la producción de bienes inmateriales. Ésta requerirá de ingresos más bajos y por lo tanto no será necesario trabajar en exceso.<sup>57</sup>

Así como la inversión en capital es necesaria para mantener el crecimiento económico, resulta también necesaria una “inversión ecológica” que propenda por la sustitución de fuentes energéticas y materiales no renovables por aquellas que lo sean; pero este ritmo de inversión no puede ser demasiado lento, porque se agotarían los recursos antes de poder aprovechar dichas fuentes, ni demasiado rápido, porque se paralizaría la economía.

Es obvio que la economía ecológica tiene aún un largo camino por recorrer para poder estructurar una alternativa plausible al enfoque neoclásico basado en el crecimiento. Pero al contrario de lo que plantea la economía neoclásica, ésta no busca reducirlo todo a términos monetarios y puede convivir con la existencia de indicadores con distintas unidades de medida (como los vistos más arriba). Resulta imperativo que la gestión de los gobiernos no se evalúe solo con base en los resultados del PIB, y que este último se complemente con estos y otros indicadores.

---

<sup>57</sup> Estos son algunos de los argumentos de la llamada Escuela del Decrecimiento, que por el alcance de este trabajo, no serán ampliados aquí.

### 3 EL CRECIMIENTO ECONOMICO EN COLOMBIA DURANTE EL SIGLO XX

Manteniendo la estructura de las secciones anteriores, en este capítulo se pretende establecer un paralelo entre el análisis económico tradicional y las alternativas planteadas por la economía ecológica, en este caso para analizar el desempeño económico de la economía colombiana durante el siglo XX.

Por ello se encuentra dividido en tres partes: en la primera se analizan los principales indicadores económicos de la economía colombiana para evaluar su crecimiento desde la perspectiva económica neoclásica; en la segunda se incorporarán dos de los principales indicadores de carácter social para complementar el análisis económico: el Índice de Desarrollo Humano (IDH) y el Coeficiente de Gini; y en la última parte se estudiará la economía colombiana desde la perspectiva de la Economía Ecológica, presentando indicadores en términos materiales y energéticos, así como mostrando estadísticas de los niveles de emisión de gases de efecto invernadero, del uso de la tierra y de la pérdida de biodiversidad ocasionadas por las actividades económicas en el país.

Debido a la implementación relativamente reciente de algunos de estos últimos indicadores, para algunos de ellos no se disponen de datos sino hasta después de mediados del siglo, mientras que para otros sólo existe información para el periodo posterior a 1970. En este trabajo se presentarán las cifras de cada indicador para los periodos de tiempo en que éstas se encuentran disponibles.

Con este enfoque integral de la economía colombiana se pretende presentar un panorama más completo del desempeño económico del país, con el fin de trascender el mero análisis económico e incorporar evaluaciones de tipo social y ambiental, entendiendo que la economía es un subsistema más de todos aquellos que componen la biosfera y por tanto no debe estudiarse de manera aislada tal como se ha venido estilando en la teoría económica clásica y neoclásica.

### **3.1. El análisis de la economía colombiana en el Siglo XX desde una perspectiva económica tradicional**

Tal como se observó en los capítulos precedentes, tanto desde el enfoque económico clásico, como desde el neoclásico, se plantea analizar el desempeño de una economía en términos pecuniarios; es por ello que los indicadores utilizados desde estas perspectivas están expresados únicamente en unidades monetarias.

El principal indicador para analizar la evolución de la economía de determinado país es el Producto Interno Bruto (PIB), éste mide el valor monetario de los bienes y servicios finales producidos por una economía en un periodo determinado<sup>58</sup>; habitualmente las autoridades económicas (tanto extranjeras como nacionales) fijan una meta de crecimiento anual para este indicador, y gran parte de la buena o mala gestión económica se determina por el cumplimiento o no de dicha meta.

A continuación se analizará el desempeño económico colombiano en el Siglo XX con base en los indicadores más utilizados por la economía neoclásica, y se extraerán conclusiones de acuerdo a los parámetros de medición de dicha corriente; más adelante se abordarán otros enfoques para complementar los resultados en términos monetarios obtenidos en esta primera parte con otros de carácter físico, ambiental y social.

La ilustración 2 muestra a grandes rasgos la evolución del PIB en Colombia durante el siglo XX:

---

<sup>58</sup> En este trabajo se analizarán las cifras anuales para la economía colombiana.

## Ilustración 2. Crecimiento económico de Colombia - 1905-2000 (% anual)

AÑOS	PIB TOTAL (PRECIOS DE 1994)	PIB PER CAPITA (PRECIOS DE 1994)	POBLACION
1905-2000	4,72	2,33	2,34
1905-1924	5,43	3,40	1,96
1925-1950	4,42	2,16	2,21
1950-1975	5,02	2,08	2,88
1976-2000	4,04	1,82	2,18

Fuente: (Robinson y Urrutia, 2007, p.11)

Si se analizan con detalle las tasas de crecimiento del PIB en cada uno de los periodos en que se encuentran divididos los datos, se observa una notoria estabilidad de éstas a lo largo del siglo; por el lado del PIB per cápita, se contempló una progresiva disminución a medida que avanzaba el siglo<sup>59</sup>, fenómeno que en parte está relacionado con el incremento en las tasas de crecimiento de la población entre 1925 y 1975.

Para realizar un análisis más detallado de estas cifras resulta necesario construir un perfil más completo (en términos de la teoría económica neoclásica) del crecimiento económico colombiano. En la siguiente ilustración se presentan las tasas anuales de crecimiento del PIB entre los años 1928 y 1945.

---

<sup>59</sup> Estos datos se contrastarán más adelante con los del índice de Gini para determinar en qué medida contribuyeron al aumento en los niveles de desigualdad.

### Ilustración 3. Indicadores macroeconómicos, 1928-1945

AÑO	CRECIMIENTO DEL PIB (%)	AÑO	CRECIMIENTO DEL PIB (%)
1928	7,3	1937	1,6
1929	3,6	1938	6,5
1930	-0,9	1939	6,1
1931	-1,6	1940	2,2
1932	6,6	1941	1,7
1933	5,6	1942	0,2
1934	6,3	1943	0,4
1935	2,4	1944	6,8
1936	5,3	1945	4,7

Fuente: (Ocampo, 2008, p.246)

En este periodo, a excepción de los años 1930 y 1931 (cuando la economía mundial se encontraba inmersa en la Gran Depresión), la economía colombiana experimentó tasas de crecimiento positivas; se destacan las de los años 1932 a 1934 que fueron en gran parte generadas por la reactivación global del mercado del café (Ocampo, 2008, p.246).

Para entender mejor la naturaleza de este crecimiento, se debe analizar la composición sectorial de la economía en aquella época, a continuación se observan los ritmos anuales de crecimiento de los distintos sectores económicos y los cambios de su participación en el PIB colombiano.

**Ilustración 4. Ritmos de crecimiento y cambios en la composición del producto interno bruto, 1929-1945 (precios de 1950)**

SECTOR ECONOMICO	RITMOS ANUALES DE CRECIMIENTO	COMPOSICION DEL PIB	
		1929	1945
	<b>1929-1945</b>	<b>1929</b>	<b>1945</b>
Sector agropecuario	2,5%	53,3%	47,0%
Minería	1,8	4,8	3,7
Industria	7,4	8,9	16,5
Construcción	5,0	4,7	6,1
Transporte	5,4	3,0	4,2
Servicios del gobierno	0,8	8,3	5,5
Otros servicios	3,3	17,0	17,0
PIB	3,3	100,0	100,0

Fuente: (Ocampo, 2008, p265).

El sector agropecuario era por lejos el de mayor participación en el PIB nacional en este periodo, no obstante su caída desde el 53,3% al 47%, por lo que la bonanza cafetera que se extendió hasta finales de la década de los treinta y el dinamismo del cultivo de caña de azúcar en el Valle del Cauca (Ocampo, 2008, p.266) fueron dos factores determinantes en el crecimiento económico de la época.

Se debe destacar el aumento de participación del sector industrial, del 8,9% en 1929, pasó al 16,5% en 1945, lo que representa una tasa anual de crecimiento del 7,4%<sup>60</sup>, es decir, casi duplicó su participación en 17 años; entre los sectores industriales que experimentaron mayor dinamismo se encontraban el de los textiles, el del cemento, el de las bebidas y el azucarero, entre otros. La integración del mercado lograda gracias a

<sup>60</sup> Superior en más de dos veces a la tasa de crecimiento del PIB.

la inversión en obras públicas, los incrementos en la inversión en tecnología<sup>61</sup> y, en menor medida, la devaluación del peso a mediados de los años treinta, fueron, según Ocampo (2008, pp.267-268), las causas principales de este crecimiento.

Cabe mencionar como este crecimiento industrial estuvo soportado en un aumento en el consumo energía eléctrica, Gabriel Poveda muestra como el consumo anual en megavatios hora pasó de 74.151 en 1940 a 193.246 en 1949 (Poveda, 1993, p.66), lo que significó un crecimiento del 160,6% en nueve años.

Por otra parte, el sector minero mantuvo una baja participación con una tasa de crecimiento inferior a la del PIB, esto a pesar de la bonanza experimentada en la extracción de oro en dicho periodo (Ocampo, 2008, p.266).

En resumen, entre los años 1929 y 1945 la economía colombiana basó su crecimiento principalmente en la bonanza cafetera y en el dinamismo de algunos sectores industriales; el PIB mantuvo una composición en la que los sectores agropecuario, industrial y de otros servicios eran preponderantes, con un importante crecimiento del sector industrial.

El periodo comprendido entre 1945 y 1968 fue conocido como el de la Industrialización por sustitución de importaciones, este modelo económico poseía tres características básicas: 1) La protección del sector manufacturero, 2) La conservación del ingreso real del sector cafetero como principal fuente de divisas para la importación de bienes de capital, y 3) La financiación de la industria a través de créditos de fomento con tasas de interés inferiores a las del mercado (Misas, 2002, p.113).

Este modelo estaba basado principalmente en la Tesis planteada de forma paralela por Raúl Prebisch<sup>62</sup> (1949, 1951) y Hans Singer<sup>63</sup> (1950), conocida como la Tesis Prebisch-Singer, en ésta se planteaba que los términos de intercambio entre los bienes producidos por los países subdesarrollados (basados principalmente en recursos

---

<sup>61</sup> Con un consecuente aumento en la productividad del trabajo.

<sup>62</sup> (1901-1986) economista argentino quien fue Secretario Ejecutivo de la CEPAL entre 1950 y 1963 y uno de los principales teóricos del estructuralismo latinoamericano.

<sup>63</sup> Hans Singer (1910-2006) economista alemán que de forma paralela a Prebisch, trabajó el tema de los términos de intercambio entre los países del centro y la periferia.

naturales y mano de obra poco calificada), con el tiempo se deteriorarían respecto a los bienes producidos en los países desarrollados, intensivos en capital y conocimiento. (Pérez-Rincón, 2005, p.520).

Dicho deterioro era generado, según los autores, principalmente por dos causas: primero, la baja elasticidad-ingreso de la demanda por los bienes primarios de los países subdesarrollados y su consecuente exceso de oferta; y segundo por las asimetrías existentes entre el mercado laboral en ambos tipos de países, que permitía a los trabajadores de los países desarrollados acceder en mayor proporción a los beneficios generados por los aumentos de la productividad (Pérez-Rincón, 2005, p.520).

Algunas cifras permiten hacerse a una idea de los avances conseguidos bajo este modelo de desarrollo económico: Entre 1945 y 1955 la tasa media de crecimiento de la industria fue mayor al 8%, la participación de la industria en el PIB pasó del 13.5% en 1945, al 23.2% en 1975, mientras la de la agricultura bajó del 40% al 23.9% en el mismo periodo. Entre 1960 y 1968 el PIB creció a una tasa promedio anual del 4.7%, el consumo de energía creció a un 4.2% y la población al 3.3% (OLADE, 1995, p.3-3).

Pero el tamaño limitado del mercado, el lento avance de la agricultura y la caída de las exportaciones del café (principal fuente de divisas) ralentizaron el proceso de industrialización. En el quinquenio de 1963-1968 la tasa de absorción de las industrias de bienes de consumo era solo del 0.8% anual, mientras que el quinquenio anterior era del 2%.(OLADE, 1995, p.3-5).

Continuando con Misas (2002, p.116), el sector manufacturero colombiano presentaba ciertas características que impidieron que estas cifras hubiesen sido mejores. Resulta necesario enumerarlas, porque para lo que se pretende mostrar en este trabajo, resultan relevantes:

1. Proceso de oligopolización precoz: en los principales sectores de la industria se configuraron oligopolios tempranamente que capturaron para sí el mercado interno y no dejaron lugar a la competencia (por ejemplo las empresas Bavaria, Fabricato-Coltejer), además de otras en el sector automovilístico, de bebidas

gaseosas, etc. Por otra parte el mercado interno crecía muy lentamente debido a la consuetudinaria desigualdad en la distribución del ingreso, esto restringía las posibilidades de crecimiento para dichas empresas y no les permitía aprovechar en gran medida las economías de escala y a su vez no incentivaba el progreso técnico.

2. Configuración temprana de conglomerados económicos: debido al lento crecimiento de la demanda, no resultaba muy rentable invertir las utilidades en el aumento de la capacidad instalada y las empresas preferían invertir en otras actividades económicas dando paso así a la formación de conglomerados económicos.
3. Limitada vinculación de la técnica y la tecnología: así mismo, la baja demanda frenaba la implementación de nuevas tecnologías, limitando así la posibilidad de emplear técnicas más eficientes energéticamente, por lo tanto la productividad crecía por debajo de la inversión.
4. Red industrial poco densa y poco diversificada: esta fue una clara consecuencia de las tres circunstancias anteriores.
5. Empresariado industrial surgido de la elite agrario-comercial: éste carecía de una cultura de la reinversión de utilidades, sólo se reinvertían cerca del 26% de las mismas, lo que derivó en un alto nivel de endeudamiento.
6. Lenta expansión de la relación salarial con el resto de la economía: los bajos salarios pagados en la industria, aunados al alto grado de informalidad, no permitieron el aumento del poder adquisitivo de la población, condición *sin e qua non* para conseguir el crecimiento bajo este modelo.

Como medida para contrarrestar los efectos negativos observados durante el periodo de industrialización por sustitución de importaciones, se estableció el Estatuto Cambiario (Decreto 444 de 1967); éste buscaba promover la diversificación de las exportaciones para escapar a las limitaciones del mercado interno y significó el abandono de la tasa de cambio fijo por una serie de devaluaciones progresivas, también se crearon instrumentos fiscales (Certificado de abono tributario) y financieros

(Fondo de promoción de exportaciones), todos con el fin de impulsar las exportaciones no tradicionales.

En lo que respecta a la evolución de los indicadores económicos y de consumo de energía, se puede observar que entre 1969 y 1975 el PIB creció a una tasa de 5.8% promedio anual, el consumo de energía al 0.7% y la población al 2.5% en este periodo se empezó a sustituir la leña por fuentes comerciales (principalmente la electricidad), la participación de ésta en la canasta energética bajó del 33% en 1968 al 26% en 1975 (OLADE, 1995, p.3-21). Esto explica en parte la caída de la tasa de crecimiento del consumo energético con respecto a la del PIB, las nuevas fuentes eran más eficientes y por lo tanto los requerimientos de energía en la industria disminuyeron en términos relativos.

Uno de los factores determinantes del crecimiento económico neoclásico es el cambio técnico, el cual se mide a partir del concepto de productividad total de los factores (PTF); Urrutia y Robinson (2007, p.22) citan un estudio realizado por Klenow y Rodríguez en 1997 en el cual concluyeron que en el contexto internacional, en el periodo comprendido entre 1960 y 1985, por cada incremento del 1% en el crecimiento económico por encima del promedio, un 0.85% se debió al aumento en el índice de productividad (A) en la función de producción.

En su estudio encontraron que el crecimiento del nivel de productividad de la economía colombiana en dicho periodo fue del 1,31%, el cual catalogaron como bajo comparado con el 3,53% de Japón, el 2,54% de Corea del Sur y el 2,12% de Alemania; aunque cabe señalar que el índice de EEUU creció sólo un 0,04% en el mismo periodo, el de Chile cayó un 0,43% y el de Perú un 0,72% (Urrutia y Robinson, 2007, p.23). Es decir que dentro del escenario americano, Colombia presentó un buen desempeño en este rubro. La siguiente ilustración muestra los indicadores de crecimiento económico colombiano en términos de la productividad total de los factores:

**Ilustración 5. Crecimiento del PIB, el producto por trabajador, el capital físico, humano y la productividad, Colombia. 1960-1985 (%)**

<b>PIB</b>	<b>Producto por trabajador</b>	<b>Capital físico/producto</b>	<b>Capital humano/producto</b>	<b>Nivel de productividad</b>
4,70	2,10	0,33	0,84	1,31

Fuentes: (Urrutia y Robinson, 2007, p.23); Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Si se consideran los resultados de Klenow y Rodríguez, debe concluirse que un 85% del crecimiento de la economía colombiana entre 1960 y 1985 (es decir, un 4% del 4,7% total) se generó por el incremento del 1,31% en la productividad; lo que no queda claro es qué proporción de dicho incremento se originó por el cambio técnico y cuál por el incremento en los consumos de energía y el acceso a fuentes energéticas más eficientes<sup>64</sup>.

Pasando ahora a analizar los principales agregados macroeconómicos para el periodo 1970-2005 se observa un crecimiento anual en el consumo final del 4.4%<sup>65</sup> en todo el periodo, donde se destaca el dinamismo en el consumo del sector público; de igual manera, la formación bruta de capital experimentó aumentos importantes, sobre todo en los lustros 1975-1980 y 1990-1995. Estas tasas de incremento llevaron al PIB a crecer a un 4.5% en todo el periodo.

<sup>64</sup> Ya que, tal y como se observó más arriba, en este periodo el consumo de leña fue sustituido en gran medida por el de la electricidad.

<sup>65</sup> Teniendo en cuenta que el consumo final representa cerca del 80% del PIB, estas cifras resultan bastante útiles para entender la dinámica del crecimiento económico colombiano durante este periodo.

**Ilustración 6. Colombia, principales agregados macroeconómicos 1970-1995.  
(Millones de pesos)**

Conceptos	1970	1975	1980	1985	1990	1995	Tasa de crecimiento promedio anual
Consumo final	251,886	328,955	439,062	486,735	581,568	733,820	4.4%
Hogares en el territorio nacional	224,576	292,779	384,698	422,917	499,839	614,082	4.1%
Administraciones públicas	27,310	36,176	54,364	63,818	81,729	119,738	6.1%
Inversión nacional (FBK)	63,148	68,838	103,358	102,574	115,641	275,376	6.1%
Formación bruta de capital fijo	53,201	62,129	88,021	93,505	103,046	186,299	5.1%
Variación de existencias	9,947	6,709	15,337	9,069	12,595	89,077	9.2%
Producto interno bruto	307,496	405,108	525,765	587,561	735,259	920,902	4.5%

Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)

En lo que respecta a las exportaciones, hasta 1973 el contexto internacional impulsó el crecimiento de las ventas colombianas al exterior<sup>66</sup>, la composición de las exportaciones siguió una tendencia hacia los bienes manufacturados, pasando del 10,7% al 37,6% entre 1967 y 1974 (OLADE, 1995, P. 3-7).

El Gobierno de Alfonso López Michelsen (1974-1978) adoptó un plan de estabilización para mitigar los efectos de la crisis energética de 1972, dicho plan se centró en dinamizar al sector agrícola, lo que se tradujo en algunos recortes a los subsidios al capital; esto en parte se vio motivado por el convencimiento de que el sector industrial era incapaz de absorber el crecimiento demográfico urbano (Ocampo et al, 2008, p.307).

La subsiguiente bonanza cafetera y el auge del crédito externo contribuyeron a la revaluación del peso, lo que significó un nuevo golpe a la industrialización y a la diversificación de las exportaciones (Ocampo et al, 2008, p.304).

En la ilustración 7 se observa que para 1990 el petróleo pasó a ser el principal rubro exportador de la economía colombiana por encima del café, por otra parte, la exportación de bienes industriales experimentó una caída entre 1975 y 1985, recuperándose en los dos lustros siguientes hasta llegar a representar un 33,6% del

<sup>66</sup> Cabe recordar que el periodo comprendido entre los años 1945 y 1973 es conocido como la “edad de oro del capitalismo”.

total en 1995 (superando al petróleo), y el carbón comenzó a aparecer dentro de la canasta exportadora del país.

### **Ilustración 7. Participación porcentual de algunos productos en el total de las exportaciones colombianas (1975-1995)**

	1975	1980	1985	1990	1995
<b>CAFÉ</b>	45.0	55.5	44.6	19.8	17.9
<b>CARBÓN</b>	0.002	0.002	0.032	7.6	5.8
<b>PETRÓLEO</b>	6.8	2.4	11.5	27.3	21.4
<b>BIENES INDUSTRIALES</b>	28.2	22.9	17.8	24.6	33.6

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del cuadro 3A anexo en Restrepo, 2002.

Retomando el tema de la composición sectorial del PIB, en la Ilustración 8 se observa que ésta experimentó variaciones moderadas entre 1970 y 1995, la agricultura continuó en el primer lugar, aunque para 1995 se encontraba igualada con la industria manufacturera, el sector financiero ganó un poco de participación y la minería pasó del 3% al 4% del PIB en esos veinticinco años, no obstante el notable incremento de su participación en las exportaciones; lo anterior demuestra que el sector externo impactó de forma moderada a la composición del PIB colombiano.

### **Ilustración 8. Composición sectorial del PIB 1970-1995 (%)**

Clase de actividad	1970	1975	1980	1985	1990	1995
Agricultura, silvicultura, caza y pesca	25%	24%	23%	22%	22%	19%
Industria manufacturera	21%	23%	22%	21%	21%	19%
Establecimientos financieros, seguros, inmuebles y servicios a empresas	14%	14%	14%	14%	15%	16%
Comercio, restaurantes y hoteles	12%	13%	13%	12%	12%	12%
Transporte y comunicaciones	8%	8%	9%	9%	9%	9%
Servicios del gobierno	7%	7%	8%	8%	9%	9%
Servicios personales 1/	5%	5%	5%	5%	4%	4%
Construcción y obras públicas	3%	3%	3%	4%	3%	4%
Minería	3%	2%	1%	2%	5%	4%
Electricidad, gas y agua	1%	1%	1%	1%	1%	1%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) - División de Síntesis y Cuentas Nacionales.

Si se hace una comparación con los datos de 1929, (donde el 53.3% del PIB se generaba en la agricultura), se observa que la economía del país dejó de ser predominantemente agrícola y que la industria ganó bastante participación; por otro lado, el aporte de la minería permaneció prácticamente sin variaciones entre 1929 y 1995 con niveles inferiores al 5%.

Por último, en cuanto a los niveles de desempleo, para el periodo 1985-2000 éste sólo estuvo por debajo del 10% entre 1993 y 1995, seguido por un pronunciada aumento en los años 1999 y 2000, cuando el país experimentó la peor recesión económica del siglo; este deterioro en las cifras contrarrestó los avances obtenidos a comienzos de la década del noventa, tanto así que, para finales del siglo, la tasa de desempleo era mayor que en la década del ochenta , por lo que se denota un claro retroceso en este aspecto.

**Ilustración 9. Colombia. Tasas de desempleo 1985-2000 (siete áreas metropolitanas)<sup>67</sup>**

<b>Año</b>	<b>Tasa de desempleo (%)</b>
1985	14,50
1986	14,70
1987	12,20
1988	11,90
1989	10,30
1990	10,90
1991	10,70
1992	11,20
1993	9,10
1994	9,80
1995	9,00
1996	11,40
1997	13,30
1998	15,90
1999	19,90
2000	20,40

Fuente: Departamento Nacional de Estadística (DANE)

<sup>67</sup> Estas áreas son: Bogotá, D.C., Barranquilla, Cali, Medellín, Bucaramanga, Manizales y Pasto

En conclusión, se observa que en términos monetarios, la economía colombiana mostró un importante desempeño en el siglo XX, el PIB mantuvo una tasa superior al 4% en todo el periodo y el PIB per cápita también aumentó; la tasa de crecimiento de la productividad total de los factores fue buena dentro del contexto americano, pero inferior a la de los países asiáticos; el sector industrial ganó bastante participación en detrimento de la agricultura.

Una comparación de la evolución de PIB per cápita colombiano en el siglo XX con el de algunos países latinoamericanos y con el de Estados Unidos de Norteamérica permite situar el desempeño económico nacional en un entorno regional; mientras el PIB per cápita colombiano en dólares aumentó 5 veces a lo largo del siglo (igual que el de Chile), el de Argentina lo hizo 3,1 veces, el de Brasil 7,6 veces y el PIB per cápita venezolano creció 9,8 veces. Es decir el aumento del PIB per cápita colombiano estuvo un poco por debajo del promedio latinoamericano (Robinson y Urrutia, 2007, p.13).

En relación al PIB per cápita estadounidense, no se presentó prácticamente ninguna variación a lo largo del siglo, ya que, mientras para el año 1900 el PIB per cápita colombiano representaba el 24% del estadounidense, para el año 1992 esta proporción se encontraba en el 23%, con un comportamiento constante en los periodos intermedios (Robinson y Urrutia, 2007, p.15).

El consumo final (tanto público como privado) y la formación bruta de capital crecieron a ritmos importantes a partir de 1970, lo que es una clara señal del aumento en el poder adquisitivo de la población.

En el mercado externo, se evidenció una disminución constante en la participación del café en las exportaciones, ya que a partir de 1975, el petróleo y el carbón pasaron a ocupar su lugar, complementados con las ventas externas de bienes industriales que también ganaron participación.

El desempleo quizás fue el lunar más importante del desempeño económico colombiano, ya que el crecimiento en el PIB y los demás agregados monetarios, no se

vio reflejado en un mayor nivel de ocupación, lo que impidió un mayor crecimiento en los niveles de consumo y por ende del PIB y acarreo otros problemas de tipo social y de orden público que escapan al análisis de este trabajo.

### **3.2. Indicadores sociales complementarios al análisis económico**

Los indicadores que se acaban de revisar de manera general son estrictamente de carácter monetario, y son los más utilizados para analizar el crecimiento económico de un país desde el estudio económico estándar; no obstante, desde el ámbito académico e institucional se han propuesto índices alternativos que completan el análisis en términos monetarios con datos sociales relacionados con el nivel de educación, de salud pública, de desigualdad en el ingreso y de cobertura de necesidades básicas de cada sociedad, entre otros.

Estos índices permiten contrastar los resultados económicos con evaluaciones del estado general de una sociedad<sup>68</sup>. En este trabajo se analizarán dos de los de mayor difusión en la actualidad: El Índice de Desarrollo Humano (IDH) y el Coeficiente de Gini; primero se describirán de manera general y luego se evaluarán sus estadísticas para Colombia con el fin de ampliar las conclusiones obtenidas en la primera parte del capítulo.

El IDH es un indicador propuesto por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y se construye a través de la ponderación de tres parámetros principales: la longevidad, medida como la esperanza de vida al nacer; el nivel educacional, que es una combinación entre la tasa de alfabetización en adultos y la tasa bruta de matrícula en primaria, secundaria y superior; y el nivel de vida, que está determinado por el PIB real per cápita (medido en PPA en dólares)<sup>6970</sup>. Éste va desde 0, como valor mínimo, hasta 1, que es el valor máximo.

---

<sup>68</sup> Basadas en los aspectos mencionados en el párrafo anterior.

<sup>69</sup> Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. *Desarrollo Humano. El índice de Desarrollo Humano. (S.F.)*. Recuperado el 23 de agosto de 2014 de <http://www.pnud.org.co/sitio>

En el año 1951, el IDH de Colombia fue de 0.07, es decir, se encontraba en el rango bajo de la escala; en dicho año la esperanza de vida al nacer era de 50 años, el índice de analfabetismo en adultos estaba en el 37.7% y el promedio de años de educación era de 2 (Fresneda et al, 1996, p.5).

Para 1973, el IDH colombiano era de 0.45, la esperanza de vida se situaba en 61.5 años, la tasa de analfabetismo había bajado al 18.5% y el promedio de años de educación había ascendido a 3.5 años (Fresneda et al, 1996, p.5). Si bien el indicador se encontraba aún en el nivel bajo de la escala, es notable el incremento en la calidad de vida de la población colombiana en este periodo de tiempo.

Por otra parte, según cifras del DANE, el PIB per cápita real pasó de 301.9 dólares en 1951 a 499.9 en 1973, lo que significó un crecimiento del 66% en tan sólo 23 años.

En este periodo, en el que se implementó el modelo de Industrialización por sustitución de importaciones, puede concluirse que, además de presentarse cifras positivas en el crecimiento económico (tal y como se observó más arriba), también se dieron importantes avances en los indicadores sociales, por lo menos en aquellos considerados dentro del IDH.

Pese a los cambios llevados a cabo en el modelo económico a partir de la década del 70, el IDH continuó con su tendencia positiva en el país; en 1978 ya se situaba en un nivel de 0.64 (había ascendido del rango bajo al medio), la tasa de analfabetismo bajó al 16.8% y la esperanza de vida se ubicaba ahora en 63.9 años (Fresneda et al, 1996, p.5). Así mismo, el PIB per cápita continuó con su tendencia alcista, alcanzando los 569.9 dólares por habitante en ese mismo año<sup>71</sup>.

Para concluir con el análisis de la evolución de este indicador en los últimos años del siglo, cabe mencionar que para 1993 el IDH colombiano se situaba ya en el rango alto, alcanzando el 0.72, mientras que la esperanza de vida llegó a los 69 años, la tasa de

---

<sup>70</sup> El índice de longevidad varía entre 25 y 85 años, el de nivel de educación entre 0% y 100% y el de nivel de vida entre 100 y 40.000 dólares de ingreso per cápita. Está clasificado en: Muy alto >0.80; Alto: 0.70-0.79; Medio: 0.55-0.69; Bajo: < 0.55

<sup>71</sup> La información relacionada con el PIB y el PIB per cápita contenida en este capítulo fue extraída de las bases de datos del Departamento Nacional de Estadística (DANE).

analfabetismo cayó al 11.1% y el promedio de educación alcanzó los 6 años (Fresneda et al, 1996, p.5). Estos datos ratificaron la tendencia positiva que venía de décadas atrás.

La ilustración 10 muestra la evolución posterior:

**Ilustración 10. Tendencias del Índice de Desarrollo Humano, 1990-2010. Colombia**

								Ranking IDH		Crecimiento promedio anual del IDH		
									cambio	(%)		
1990	2000	2005	2008	2010	2011	2012	2013	2012	2008-2013	1980-1990	1990-2000	2000-2013
0.596	0.655	0.680	0.700	0.706	0.710	0.708	0.711	98	-2	0.68	0.94	0.63

Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). <http://hdr.undp.org/es/data>

La información disponible permite inferir, sin lugar a dudas, que Colombia ha mostrado una tendencia positiva en los indicadores sociales que conforman el IDH a partir del año 1951; estas cifras, sumadas al crecimiento económico descrito más arriba, muestran un panorama positivo para la sociedad colombiana en la segunda mitad del Siglo XX.

Existe un factor que hasta ahora no se ha analizado y es el que tiene que ver con la equidad y la distribución del ingreso, aunque el PIB per cápita brinda una aproximación parcial a este aspecto, cabe recordar que éste es un promedio, y los promedios en ocasiones resultan engañosos, ya que no muestran las desviaciones atípicas (tanto por encima, como por debajo de éste).

Uno de los indicadores más usados para medir la desigualdad, es el Coeficiente de Gini, el Banco Mundial lo define de la siguiente manera:

*“El índice de Gini mide hasta qué punto la distribución del ingreso (o, en algunos casos, el gasto de consumo) entre individuos u hogares dentro de una economía se aleja de una distribución perfectamente equitativa. Una curva de Lorenz muestra los porcentajes acumulados de ingreso recibido total contra la cantidad acumulada de receptores, empezando a partir de la persona o el hogar más pobre. El índice de Gini mide la superficie entre la curva de Lorenz y una línea*

*hipotética de equidad absoluta, expresada como porcentaje de la superficie máxima debajo de la línea. Así, un índice de Gini de 0 representa una equidad perfecta, mientras que un índice de 100 representa una inequidad perfecta”<sup>72</sup>.*

Teniendo clara la definición de este índice, se procede a analizar la información disponible para Colombia para determinar los niveles de desigualdad en la distribución del ingreso.

### **Ilustración 11. Coeficiente de Gini para Colombia, 1980-2010.**

<b>Año</b>	<b>Valor</b>	<b>Año</b>	<b>Valor</b>
1980	59.13	2002	60.68
1988	53.11	2003	57.86
1989	53.59	2004	58.29
1991	51.32	2005	56.12
1992	51.45	2006	58.66
1996	56.94	2007	58.88
1999	58.74	2008	57.23
2000	58.68	2009	56.67
2001	58.01	2010	55.91

Fuente: Banco Mundial. <http://datos.bancomundial.org/indicador/SI.POV.GINI>

Si se analiza la totalidad del periodo se observa una leve disminución en el indicador, de 59.13 en 1980 a 55.91 en 2010, lo que significa que se redujo la desigualdad en la distribución del ingreso; pero si se revisan las cifras con más detenimiento se observa una reducción más grande en la década del 80 seguida por un incremento en los niveles de desigualdad en la década del 90. ¿Qué factores fueron responsables del retroceso en esta década?

Según datos del Boletín 26 del Departamento Nacional de Planeación (DNP), en 1991 el 20% más pobre de la población tuvo acceso al 3,01% de los ingresos, pero para 1999, sólo percibió el 2,45% del total. Por otro lado el 20% más rico de la población obtuvo un 62.01% en 1991, contra un 61.56% en 1999; esto significa que, mientras en 1991 el 20% más rico tenía un ingreso 20,6 veces mayor al del 20% más pobre, para

<sup>72</sup> Banco Mundial. *Índice de Gini* (S.F.). Recuperado el 23 de agosto de 2014 de <http://datos.bancomundial.org/indicador/SI.POV.GINI/>

1999 éste era 25,1 veces mayor; por lo que la brecha entre los más ricos y los más pobres se amplió durante la década.

En la actualidad, según datos del PNUD Colombia ocupa el lugar 148 entre 160 países de acuerdo al coeficiente de Gini, lo que quiere decir que es uno de los más desiguales del mundo. Este dato representa un aspecto negativo en el desempeño económico y social colombiano, y le resta validez a los números positivos del PIB per cápita, ya que muestra que el crecimiento en el ingreso se está yendo principalmente hacia los sectores privilegiados de la población, mientras que la población más pobre difícilmente consigue salir de su situación.

### **3.3 Los Indicadores propuestos desde la economía ecológica y sus cifras para Colombia**

Hasta ahora se han revisado indicadores económicos y sociales para medir el desempeño de la economía colombiana en el Siglo XX, pero ya que el objetivo principal de este trabajo consiste en presentar las propuestas teóricas de la Economía Ecológica como opciones válidas y viables para abordar el estudio económico, a continuación se evaluarán los indicadores propuestos en el capítulo 2.2 de este trabajo y las cifras disponibles para Colombia; con esto se pretende analizar el desempeño económico del país desde una perspectiva poco abordada hasta el momento para entender el verdadero impacto de las actividades económicas sobre los recursos naturales y el medio ambiente.

Los primeros indicadores que se analizarán son los que tienen que ver con el flujo directo de materiales en la economía colombiana, para ello se recurrirá al artículo de Vallejo, Pérez-Rincón y Martínez-Alier de 2010 titulado *Metabolic Profile of the Colombian Economy From 1970 to 2007*; en éste, los autores analizan los flujos materiales<sup>73</sup> de la economía interna, así como aquellos relacionados con las

---

<sup>73</sup> Expresados en toneladas

exportaciones, para luego articularlos a las cifras conocidas del PIB y extraer conclusiones en términos biofísicos.

Su trabajo se basa en cuatro variables principales y cinco categorías de materiales, entre las variables se tienen: la extracción doméstica (DE por sus siglas en inglés), los inputs directos de materiales (DMI), el consumo doméstico de materiales (DMC), y el balance comercial físico (PTB); mientras que las categorías de materiales son: la biomasa, los materiales de construcción, los minerales industriales, los minerales metálicos y los combustibles fósiles.

El input directo de materiales (DMI) son todos aquellos materiales extraídos del medio ambiente e incorporados al sistema económico, mientras que la extracción doméstica (DE) es igual al input directo de materiales menos las importaciones de los mismos<sup>74</sup>.

Vallejo et al (2010, p.49) encontraron que la extracción doméstica colombiana pasó de 136 millones de toneladas (Mt) en 1970 a 392 Mt en 2007, esto significa una tasa promedio anual de crecimiento del 2.9%, inferior a la del PIB para este mismo periodo que fue del 3.9%. Esto quiere decir que con un 2.9% de incremento anual en el uso de materiales, la economía creció un 3.9% en términos monetarios, o en otras palabras, que se presentó una desmaterialización relativa de la economía colombiana entre 1970 y 2007.

Dentro de las cinco categorías de materiales enunciadas que conforman la DE, el rubro que más creció fue el de los combustibles fósiles<sup>75</sup>, que pasó de conformar el 13% de ésta en 1970 al 29% en 2007 (una tasa de crecimiento de 5.1% anual), Entre los otros componentes de la DE encontraron que el consumo de materiales de construcción pasó de 29Mt a 108Mt (3.6% anual), el de la biomasa para cultivos primarios de 22Mt a 62Mt (2.8% anual) y el de los minerales industriales de 1.7Mt a 9.4Mt (4.7% anual).(Vallejo et al, 2010, p.49).

---

<sup>74</sup> DMI= DE+M; DE= DMI-M.

<sup>75</sup> Principalmente petróleo y carbón.

En síntesis, la tasa de crecimiento en uso de la biomasa y los materiales de construcción fue menor a la del PIB, mientras que la de los combustibles fósiles y de los minerales industriales fue superior.

Por otra parte, el consumo doméstico de materiales (DMC), que es igual al input directo de materiales menos las exportaciones<sup>76</sup>, pasó de 119 Mt a 278Mt en el periodo analizado, un crecimiento del 2.3% anual, el DMC per cápita creció al 0.5%, ambas tasas menores también que la del PIB. Los autores concluyen que la causa de esta desmaterialización es una mayor eficiencia de la economía asociada al mayor valor agregado pagado por cada kilogramo de material utilizado, aunque advierten que esta desmaterialización es sólo relativa, ya que, en términos generales, la economía colombiana creció usando y agotando sus dotaciones naturales (Vallejo et al, 2010, p.58).

Pasando al sector externo, el balance comercial físico PTB<sup>77</sup> mostró un resultado deficitario durante todo el periodo; las exportaciones, que en 1970 representaron 7Mt, para 2007 eran de 97Mt<sup>78</sup>, una tasa de crecimiento anual del 7.3% (casi el doble de la del PIB). Por otro lado, las importaciones pasaron de 1.8Mt a 21.1Mt en el mismo periodo, una tasa del 7% (Vallejo et al 2010, p.43). El balance total para el periodo fue deficitario en 932 Mt (Vallejo, p.45), es decir, que entre 1970 y 2007, el flujo neto de materiales extraídos en el país hacia las economías externas fue de 932 Mt.

Además del déficit en términos físicos, el artículo nos muestra que también se ha presentado un progresivo deterioro de los términos de intercambio, es así como los precios por tonelada de material exportado pasaron de USD102 en 1970 a USD309 en 2007, mientras que los de las importaciones variaron entre USD481 y USD1457 en el mismo periodo (Vallejo et al 2010, p.48); es decir, por cada tonelada que el país importa debe exportar 4,71 para mantener la balanza comercial equilibrada.

Los autores afirman que esta asimetría entre los precios de importaciones y exportaciones promueve la intensificación de la explotación de los recursos naturales

---

<sup>76</sup> DMC= DMI -X

<sup>77</sup> PTB= M-X

<sup>78</sup> 70% de estos representados en carbón.

para exportación con el fin de poder adquirir la misma cantidad de bienes importados; por otra parte, los costos ambientales de la producción no son incorporados a los precios finales de las exportaciones, de esta manera los países del Sur<sup>79</sup> no sólo exportan sus incrementos en productividad, sino que también están agotando sus recursos y asumiendo las consecuencias ambientales para sostener los patrones de consumo de los países industrializados. Esto constituye lo que se conoce como un intercambio ecológicamente desigual (Vallejo et al 2010, p.47); o dicho de otra manera, que los países industrializados tienen una deuda ecológica con los países exportadores de recursos naturales como Colombia.

Las cifras presentadas en el artículo permiten concluir que la economía colombiana ha experimentado una relativa desmaterialización debido al aumento en el valor agregado de los materiales y a una mayor eficiencia económica, dicha desmaterialización se ha presentado en cuanto al uso de biomasa y de materiales de construcción. Pero debe aclararse que esta desmaterialización se presenta al mismo tiempo que los recursos naturales se siguen agotando.

No obstante, en lo que respecta a los combustibles fósiles, se siguió una tendencia contraria, la explotación de éstos creció a una tasa superior a la del PIB, con los consecuentes impactos ambientales que su explotación acarrea, también los minerales industriales presentaron una tasa superior a la del PIB, aunque su peso dentro del total es relativamente bajo.

Los datos más llamativos se encuentran por el lado del PTB, el déficit tanto físico como monetario muestra un constante deterioro de los términos de intercambio de los productos colombianos, sumado a una tasa creciente de agotamiento de recursos no renovables como el carbón y el petróleo y al impacto ambiental y social de su explotación. Estos datos ubican al país como una economía primaria exportadora de recursos naturales con bajo valor agregado en términos relativos.

¿Cómo se ha visto reflejado esto en las reservas de recursos naturales del país?, en lo que respecta a los combustibles fósiles, contrario a lo que los patrones de

---

<sup>79</sup> Que en el artículo son aquellos cuya economía se basa principalmente en la explotación de recursos naturales

exportaciones y consumo sugieren, las reservas probadas han experimentado una tendencia creciente a partir de 1990, en la siguiente ilustración se puede observar este fenómeno:

**Ilustración 12. Reservas de Petróleo y Gas en Colombia, 1990-2011**

	1990	2000	2007	2008	2009	2010	2011
<b>PETROLEO (Mt)</b>	243	268	205	184	184	259	270
<b>GAS (BCM)</b>	110	129	106	124	134	153	155

Fuente: Enerdata

A pesar de la disminución en las reservas en el periodo 2007-2009, los niveles de reservas de petróleo y gas de 2011 fueron mayores que los de 1990, este hecho se debe principalmente al descubrimiento de los campos de Cusiana y Cupiagua en la década de los noventa.

No obstante, en la Revista *La Nota Económica* (p.104) se advierte que: *“De continuarse con las mismas tasas de crecimiento en la incorporación de reservas y la producción (de petróleo), la situación de autoabastecimiento de Colombia se volvería insostenible a mediados del 2018 a menos que se cuente con descubrimientos importantes”*<sup>80</sup>.

En la misma publicación se observa la evolución detallada de las reservas petroleras desde el año 2000, así como el número de años de duración de éstas, y se concluye que a lo sumo se cuentan con 8 años de reserva. Esto se debe a la falta de descubrimientos importantes, ya que de los nuevos campos descubiertos para el 2013, el 85% de ellos tiene reservas inferiores a los 5 millones de barriles (P.102).

En conclusión, en lo que respecta al petróleo el panorama no se presenta muy alentador, ya que a menos que se lleve a cabo un descubrimiento de proporciones similares a aquellos de la década del noventa, lo que hasta la fecha no ha sucedido, el periodo de autosuficiencia petrolera colombiana está llegando a su fin.

<sup>80</sup> Rivera, A. (Ed.). (2014). Hidrocarburos, Minas y Energía. Petróleo. *La Nota Económica*, (Julio 2014).

Por otra parte, en la misma Revista (p.92) se muestra como a pesar de que las reservas de gas natural también han aumentado desde 1990, los años de reservas restantes en Colombia han caído de 30 en el año 2000, a menos de 15 en el 2013, esto debido a que el número de usuarios del gas natural en el país pasó de 4,5 millones en 2004 a poco más de 7 millones en 2013, una tasa anual de crecimiento del 5,3%.

Como se vio más arriba, en 2007 el carbón ya representaba el 70% del total de material exportado; si se considera que la extracción en 1985 fue de 5 millones de toneladas y que la meta de producción para el año 2014 se sitúa en 89,1 millones de toneladas (P.58)<sup>81</sup>, se puede inferir que la explotación de este recurso ha crecido a un ritmo muy superior al del PIB (10,3% anual) en las últimas décadas, además debe considerarse que, según la misma publicación, que el 97% de dicha extracción se envió a los mercados internacionales, mientras que apenas el 3% se destinó al mercado nacional.

Aunque con reservas superiores a las del petróleo y el gas<sup>82</sup>, el efecto que la extracción de carbón tiene sobre el medio ambiente debe ser rigurosamente calculado y descontado de las ventas totales, para conocer el verdadero aporte que la explotación de este combustible genera para la economía nacional.

Pero no solamente es importante evaluar las reservas de los recursos energéticos, si se analiza el estado de las reservas de agua, los indicadores del Banco Mundial para Colombia<sup>83</sup> muestran que, en términos brutos, los recursos de agua dulce renovables han permanecido constantes en 2114 billones de metros cúbicos desde 1962, pero los recursos per cápita han bajado de 124.335 metros cúbicos por habitante en 1962 a 44.860 en 2013; es decir, una disminución del 64% en el agua disponible por persona en un lapso de 51 años, lo que se debe principalmente al crecimiento demográfico.

Aunque el país sigue presentando una relativa abundancia del recurso hídrico, la disminución de la disponibilidad de agua dulce per cápita y los crecientes niveles de

---

<sup>81</sup> Rivera, A. (Ed.). (2014). Hidrocarburos, Minas y Energía. Carbón. *La Nota Económica*, (Julio 2014).

<sup>82</sup> En La Nota Económica se estiman aproximadamente 50 años (p.60).

<sup>83</sup> Todos los indicadores del Banco Mundial citados en este capítulo fueron extraídos del siguiente enlace: <http://datos.bancomundial.org/pais/colombia>

contaminación de las fuentes de agua<sup>84</sup>, obligan a adoptar medidas urgentes para la correcta gestión de este valioso recurso.

Otro tema relevante en lo que tiene que ver con los recursos materiales del país es la pérdida de biodiversidad; Colombia es considerado el segundo país con mayor biodiversidad en el mundo, en el trabajo conjunto de la OCDE y la CEPAL: *Evaluaciones del Desempeño Ambiental: Colombia 2014* se menciona como entre el 30% y el 50% de los ecosistemas naturales han sido transformados (2014, p.208), esto se ha dado principalmente por los cambios en el uso de la tierra, ya que los bosques se han venido transformando gradualmente en tierras de pastoreo.

Complementando lo anterior con cifras del Banco Mundial, se observa como el área selvática del país disminuyó de 625.190 Km<sup>2</sup> en 1990 a 603.980 km<sup>2</sup> en 2011, lo que significó un promedio de disminución de 1.010 Km<sup>2</sup> por año<sup>85</sup>, este hecho se ve traducido en una amenaza para las especies endémicas. La ilustración 13 muestra el número de especies en peligro en la actualidad.

**Ilustración 13. Colombia, Especies en peligro, 2013**

<b>Especies en peligro</b>	<b>Total</b>	<b>amenazadas</b>	<b>% amenazadas</b>
Especies de aves	1889	68	3.6
Especies de peces	3533	81	2.3
Especies de plantas	30776	798	2.6
Especies de mamíferos	479	40	8.4

Fuente: Sistema de Información de Biodiversidad. <http://www.sibcolombia.net>

Si bien estos números son bajos considerando la mega diversidad del país, deben ser monitoreados constantemente con el fin de diseñar políticas que permitan evitar su aumento.

Por otra parte, los cambios en el uso de la tierra traen consigo otras consecuencias, además de la pérdida de biodiversidad; según estadísticas del Banco Mundial, las tierras agrícolas pasaron de 399.700 Km<sup>2</sup> a 437.856 Km<sup>2</sup> en el periodo comprendido

<sup>84</sup> La emisión de contaminantes hídricos orgánicos para Colombia fue estimada por el Banco Mundial en cerca de 87.000 Kg por día para 2005.

<sup>85</sup> Aunque hay que anotar que aún representan el 54% del territorio nacional.

entre 1961 y 2011, lo que significa un crecimiento promedio anual de 763 km<sup>2</sup> de superficie, aunque se observó un cambio de tendencia entre los años 2000 y 2010. En cuanto al consumo de fertilizantes, de 309 kg/hectárea consumidos en el año 2000, se pasó a una cifra de 579kg/hectárea en el 2010, lo que se traduce en una tasa de crecimiento del 6,5% anual, con el correspondiente impacto ambiental que esto conlleva.

En síntesis, las reservas materiales del país permiten tener cierta tranquilidad en lo que respecta a las reservas de carbón, la biodiversidad y las áreas selváticas, aunque esto no significa de modo alguno que deban mantenerse los mismos patrones de consumo y explotación actuales, esto debido a la inexorable Ley de la Entropía. Lo contrario ocurre en lo que respecta al petróleo, el gas natural y el agua, para los dos primeros se cuentan con reservas para menos de 15 años y en cuanto al agua, su disponibilidad per cápita ha caído en más de un 60% en 50 años.

Después de la anterior evaluación en términos materiales, ahora se analizarán los principales indicadores energéticos, haciendo especial énfasis en la eficiencia energética de las fuentes utilizadas de la economía y el impacto ambiental relacionado con su utilización.

Tal como se observó en la sección 2.3 de este trabajo, los autores Hall y Klitgaard (2012) proponen algunos indicadores alternativos; entre ellos se encuentra el PIB/Unidad de energía, este indicador permite medir la eficiencia de las fuentes energéticas utilizadas basándose en su aporte unitario al PIB. Los datos siguientes muestran la evolución de este indicador para Colombia a partir de 1990:

**Ilustración 14. Colombia, PIB por unidad de uso de energía.1990-2011**

AÑO	\$/Kg equivalente de petróleo	AÑO	\$/Kg equivalente de petróleo
1990	6.9	2001	10.78
1991	7.22	2002	11.44
1992	7.58	2003	11.88
1993	7.59	2004	12.72
1994	7.93	2005	13.2
1995	8.37	2006	13.76
1996	8.49	2007	15.45
1997	9.21	2008	15.59
1998	8.94	2009	15.14
1999	9.71	2010	15.23
2000	10.32	2011	16.88

Fuente: Banco Mundial

La ilustración anterior evidencia un aumento constante, a excepción de dos años, en la eficiencia energética de la economía colombiana en las últimas dos décadas; de un aporte de \$6.90 al PIB por cada Kg de petróleo en 1990, se pasó a \$16.88 para 2011, lo que significa un crecimiento promedio anual del 4,4%. ¿Cuáles fueron las causas de tal incremento? La siguiente ilustración permitirá evaluar los cambios en la composición del consumo energético colombiano en dicho periodo

**Ilustración 15. Consumo energético colombiano por fuente (%), 1990-2011.**

	1990	2000	2007	2008	2009	2010	2011
<b>PETROLEO</b>	45	50	45	43	42	43	42
<b>GAS</b>	5	7	13	16	14	15	14
<b>CARBON</b>	11	11	8	8	8	9	11
<b>ELECTRICIDAD</b>	12	13	15	15	17	17	16
<b>BIOMASA</b>	28	19	18	18	18	17	17

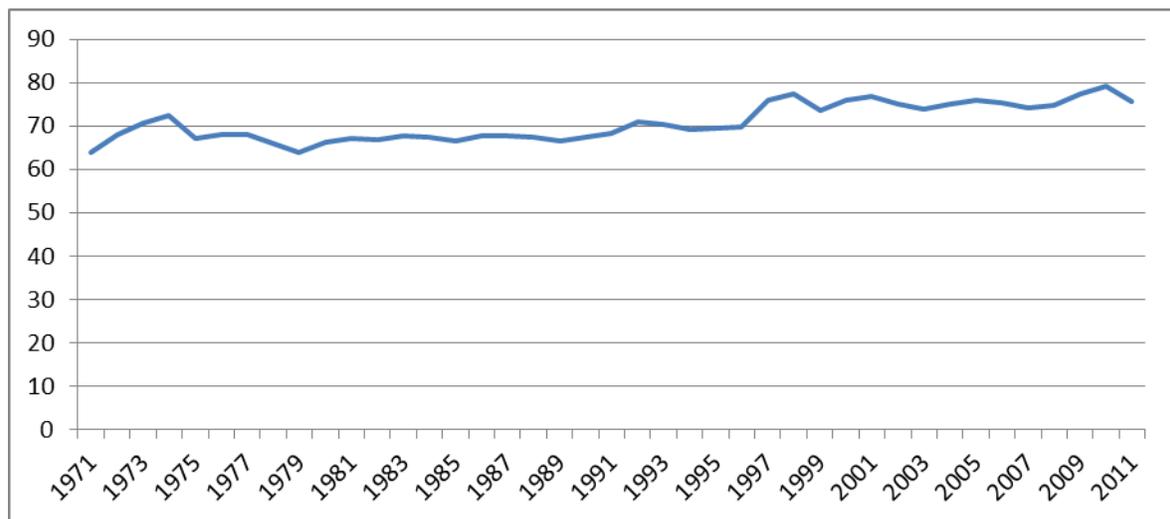
Fuente: Enerdata

El cambio más destacable en este periodo es la pérdida sustancial de participación de la biomasa en el consumo total, la cual fue suplida conjuntamente por el gas y la electricidad; por otra parte, el petróleo siguió siendo la principal fuente energética y el carbón se mantuvo estable.

La biomasa, que está representada principalmente por la leña, ha sido reemplazada paulatinamente por fuentes energéticas más eficientes y con mayor posibilidad de comercialización como el gas licuado, el gas natural y el carbón (OLADE, 1995, P.3-34). Este hecho explica en parte el aumento en la eficiencia energética experimentado por la economía colombiana en los últimos 24 años.

Por otra parte, es necesario resaltar la nula participación de las fuentes energéticas renovables (solar, geotérmica, eólica) en el consumo nacional, así como la gran dependencia de los combustibles fósiles. La ilustración 16 muestra un consumo superior al 60% desde 1971 y mayor al 70% desde 1997.

**Ilustración 16. Colombia: Consumo de energía procedente de combustibles fósiles, 1971-2011 (% del total)**



Fuente: Banco Mundial

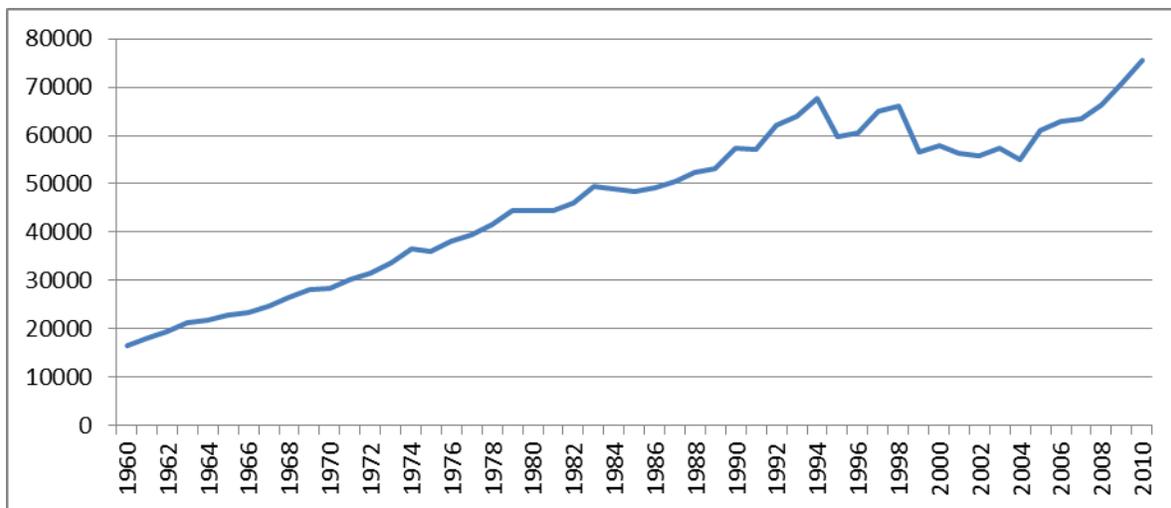
En conclusión, el aumento de la eficiencia energética de la economía colombiana se ha sustentado principalmente en una creciente explotación de los recursos fósiles lo que,

según los planteamientos de la Ley de la Entropía, es insostenible; ejemplo de ello es la disminución en los años de reservas de petróleo y gas observado más arriba.

Después de analizar la economía colombiana de las dos últimas décadas desde la perspectiva de la evolución del consumo y la eficiencia energética y material; se procede ahora a evaluar el impacto ambiental que los patrones de consumo de la economía están ejerciendo sobre el medio ambiente.

En las siguientes ilustraciones se muestra la tendencia en las emisiones de CO<sub>2</sub>, el gas metano y otros gases de efecto invernadero (GEI) producidos por la economía colombiana en las últimas décadas.

**Ilustración 17. Colombia: Emisiones de CO<sub>2</sub>, 1960-2010 (Miles de toneladas)**



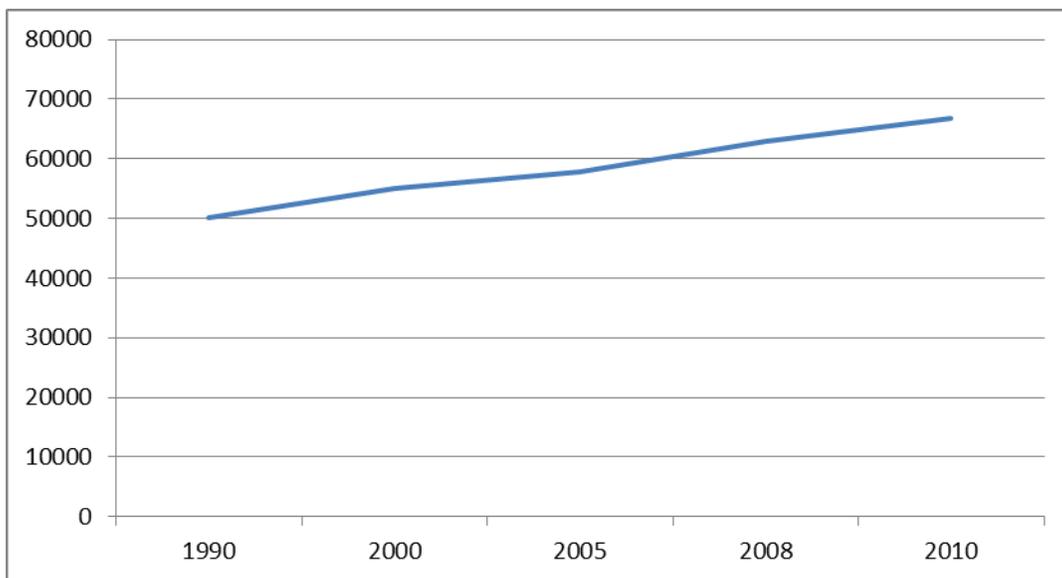
Fuente: Banco Mundial

En cuanto al CO<sub>2</sub>, las estadísticas del Banco Mundial muestran una tendencia creciente en las emisiones colombianas desde 1960, año en que se registraron 16.409 Kt (miles de toneladas), hasta superar las 75.000 Kt en 2010, lo que representa un crecimiento promedio anual del 3.1% en todo el periodo. Pero no se puede obviar el hecho de que las emisiones de CO<sub>2</sub> del país representaron sólo un 0.23% de las emisiones globales de 2010, por lo que el aporte al calentamiento global de las emisiones colombianas es mínimo.

El metano es una fuente de gas no convencional obtenido de las capas de carbón, es 21 veces más activo en la formación del efecto invernadero que el CO<sub>2</sub> y sus principales fuentes de emisión son la ganadería, la extracción y transporte de combustibles fósiles y los vertederos de residuos orgánicos.

Al igual que en el caso del CO<sub>2</sub>, las emisiones de gas metano han seguido una tendencia creciente impulsadas por las extracción de combustibles fósiles, el sector del transporte y la ganadería extensiva; pero al igual también que con el CO<sub>2</sub>, las cifras del Banco Mundial muestran que las emisiones de gas metano de Colombia sólo representaron el 0.89% del total global para el 2010, por lo que la contribución colombiana a las emisiones globales de gas metano es marginal.

**Ilustración 18. Colombia: Emisiones de metano (Kt equivalentes de CO<sub>2</sub>), 1990-2010**



Fuente: Banco Mundial

Pasando ahora a revisar los datos de otro de los indicadores propuestos desde la Economía Ecológica, en la sección 2.3 se explicó que la Huella Ecológica determina la cantidad de área de tierra y agua requerida por determinada sociedad (o el mundo en su conjunto) para producir los recursos que consume y absorber los desechos que genera.

La ilustración 19 muestra los datos globales y regionales de la Huella Ecológica, así como los de Colombia en particular; en ellos se observa que regiones como Asia, Europa y Norteamérica se encuentran en déficit, es decir, que consumen más allá de la capacidad de abastecer los recursos naturales y absorber los desechos (Biocapacidad) que tienen las áreas que habitan. El déficit de estas regiones genera un balance negativo a escala global. Por el contrario, África, América Latina y el Caribe y Oceanía presentan un superávit, esto significa que sus habitantes consumen por debajo del potencial productivo de los territorios que habitan.

Colombia en particular presenta un superávit de 2 hectáreas por persona; este dato, sumado a la exportación neta de recursos materiales a partir de 1970, permiten concluir que parte de los recursos naturales del país se están destinando a sostener los patrones de consumo de las regiones más desarrolladas del mundo; en otras palabras es una prueba de la deuda ecológica<sup>86</sup> que el mundo desarrollado tiene con los países en desarrollo, incluida Colombia.

**Ilustración 19. Huella Ecológica 2006 (Hectáreas globales per cápita)**

	Población (millones)	Huella Ecológica del consumo	Biocapacidad Total	(Déficit) ecológico o reserva
<b>Mundo</b>	6,592.9	2.6	1.8	(0.8)
<b>África</b>	942.5	1.4	1.5	0.1
<b>Asia</b>	3,983.9	1.5	0.7	(0.8)
<b>Europa</b>	731.3	4.5	3.0	(1.5)
<b>América Latina y el Caribe</b>	564.7	2.4	5.4	3.0
<b>Canadá y EEUU</b>	335.5	8.7	5.7	(3.0)
<b>Oceanía</b>	33.8	5.8	12.8	7.0
<b>Colombia</b>	45.6	1.9	3.9	2.0

Fuente: [www.footprintnetwork.org/atlas](http://www.footprintnetwork.org/atlas)

Los datos analizados en este capítulo permiten sacar importantes conclusiones acerca del desempeño de la economía colombiana a lo largo del siglo XX; primero que todo,

<sup>86</sup> Planteada por Vallejo et al y descrita más arriba.

desde la perspectiva económica neoclásica basada en el análisis de indicadores monetarios, se puede afirmar que Colombia ha presentado un balance satisfactorio, con una tasa de crecimiento promedio anual de 4.72% que le ha permitido doblar su PIB cada 15 años, un crecimiento de la participación de la industria en el PIB y una tasa de aumento de la productividad superior al promedio del continente americano.

Al contrario, en lo que respecta al PIB per cápita, el crecimiento estuvo por debajo del promedio americano y la brecha con los Estados Unidos de Norteamérica se mantuvo invariable a lo largo de todo el siglo; este fenómeno puede explicarse en parte por el aumento de la población (2.34% promedio anual durante el siglo).

Los indicadores de consumo y formación de capital posteriores a 1970 son buenos, empero no sucede lo mismo con la tasa de desempleo, que experimentó un aumento preocupante a finales del siglo.

En el aspecto social, la positiva evolución del IDH es reflejo de una mejora general en la calidad de vida de la población, lo que se tradujo en un mayor ingreso, una mayor esperanza de vida y un nivel de alfabetización superior. La gran asignatura pendiente para las autoridades políticas y económicas del país es la reducción de la desigualdad en el ingreso, las cifras del coeficiente de Gini ubican al país como uno de los más desiguales del mundo, una tendencia que se intensificó en la década del noventa.

Desde la perspectiva ecológica, las abundantes reservas energéticas y materiales de Colombia, les han permitido a sus autoridades intensificar a lo largo del siglo los niveles extracción y explotación de los recursos naturales, sin que ello haya dado lugar, por lo menos hasta el momento, a niveles alarmantes de agotamiento de reservas o de impacto ambiental.

No obstante, las reservas de petróleo y el gas natural muestran tendencias preocupantes, y es que la explotación de combustibles fósiles ha venido creciendo a tasas superiores a las de la economía en su conjunto, debido a que estos han venido ganando participación dentro de la canasta de exportaciones, sobre todo el carbón. En otras palabras, Colombia está agotando sus recursos naturales para mantener los niveles de consumo de las áreas más desarrolladas del planeta, hecho que se

evidenció al analizar los datos de la Huella Ecológica y de las exportaciones materiales del país. Pero este es un tema que debe abordarse a escala global y en el que debe existir un compromiso de disminución en el consumo por parte de los países más ricos.

Las cifras muestran que para Colombia aún no es tarde para reorientar la estrategia de abastecimiento energético y material; es posible migrar gradualmente hacia los recursos renovables, sin que sea necesaria una parálisis abrupta de la economía debido al desabastecimiento o los altos niveles contaminación. Pero es imperativo realizar dicho cambio cuanto antes, ya que el proceso entrópico opera incesantemente.

## CONCLUSIONES

El sistema económico está vinculado directamente a los ecosistemas, ya que las actividades económicas dependen de los recursos materiales y energéticos que obtienen del entorno, a la vez que le devuelven a éste, además de productos finales, desechos y alta entropía. No obstante, La Escuela Neoclásica basó sus argumentaciones en torno el crecimiento económico en funciones de producción compuestas sólo por capital, trabajo y avance técnico, asignándole a los recursos naturales un papel secundario, en la medida en que los consideraba sustituibles gracias al avance tecnológico.

La metodología neoclásica permitió plantear la posibilidad de un crecimiento económico sostenible; por otra parte el carácter de sus indicadores, expresados en términos monetarios, le facultaba para afirmar que, al menos teóricamente, estos podían crecer indefinidamente.

El planteamiento de Las Leyes de la Termodinámica a mediados del Siglo XIX, principalmente de La Ley de la Entropía, representó un serio cuestionamiento a dicho “optimismo” neoclásico, ya que, entre otras cosas, dichas Leyes afirmaban que los recursos materiales y energéticos, además de ser finitos, se degradaban irremediablemente<sup>87</sup> una vez eran utilizados en el proceso económico.

La postulación de dichas Leyes, proporcionó la base teórica para un cambio metodológico en el estudio económico, fue así como, desde mediados del Siglo XIX, se comenzaron a llevar a cabo investigaciones que buscaban integrar a la economía con el estudio de los flujos energéticos y materiales de los ecosistemas; buscando con esto romper con el paradigma neoclásico de que el sistema económico funciona de manera aislada del entorno físico y describirlo como un subsistema interconectado con los demás que componen la biosfera. Estos primeros trabajos fueron los que sentaron

---

<sup>87</sup> Aunque a través del reciclaje, el avance técnico y el aumento en la eficiencia energética estos recursos pueden volver a utilizarse parcialmente, de todos modos el proceso de degradación seguirá su curso.

las bases para la consolidación de lo que más tarde se conoció como La Economía Ecológica.

Esta Escuela de pensamiento económico considera que, debido a la Ley de la Entropía, es imposible conseguir un crecimiento económico sostenible en el tiempo, y propone escapar a la conmensurabilidad económica adoptada por las demás Escuelas económicas; para ello plantea la necesidad de complementar los indicadores monetarios con otros de carácter físico con el fin de construir un análisis económico vinculado a los ecosistemas.

Los trabajos de Sergei Podolinsky, Nicholas Georgescu-Roegen, Robert Ayres, entre otros, permitieron abordar el estudio económico desde una perspectiva radicalmente distinta, ya que sus estudios trascendieron el análisis en términos monetarios y permitieron conocer los impactos ambientales derivados de las actividades económicas, basadas en una creciente explotación de los recursos naturales a partir de la Revolución Industrial.

Bajo este enfoque fue posible construir un panorama más amplio del desempeño económico colombiano durante el Siglo XX, ya que se complementaron los resultados obtenidos por numerosas investigaciones llevadas a cabo desde la perspectiva económica convencional, con indicadores de carácter físico, energético y de impacto ambiental.

Esta investigación permitió mostrar que, además del buen desempeño en términos económicos y sociales del país a lo largo del siglo, existen otros aspectos que deben ser tenidos en cuenta; por ejemplo, y para comenzar con los aspectos positivos, la creciente tasa de eficiencia energética generada por los cambios en las fuentes utilizadas y por los aumentos en la productividad, la relativa desmaterialización de la economía y el superávit en la huella ecológica, la relativamente pequeña pérdida de biodiversidad y las reservas aún importantes de áreas selváticas, de agua y carbón.

Pero existen también consecuencias negativas originadas por los modelos de desarrollo económico del país que resultan preocupantes, en lo que respecta al tema socioeconómico, se encontraron niveles muy altos de desigualdad en el ingreso que no

mostraron indicios de disminución hasta finales del Siglo XX. Por otro lado, en las últimas décadas se ha venido presentando una intensificación en la explotación de las reservas de combustibles fósiles, sobre todo destinadas a la exportación, que comienzan a verse reflejadas en las reservas de petróleo y gas natural; las emisiones de GEI han seguido una tendencia creciente desde hace cincuenta años, y las fuentes energéticas alternativas son casi nulas dentro de la balanza energética del país.

En términos generales, las cifras de Colombia para el Siglo XX son positivas, pero es necesario comenzar lo antes posible con un proceso de redireccionamiento de la economía colombiana, es menester migrar de la intensificación en la explotación de los recursos agotables, hacia una estrategia basada en la creciente implementación de recursos energéticos renovables, ya que, aunque los indicadores no son todavía motivo de alarma, el proceso entrópico continúa su marcha perenne.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alam, Shahid. (2005). *The Economy As An Energy System*. Boston: Northeastern University.

Ayres, Robert. & Warr, Benjamin. (2005). Accounting for growth: the role of physical work. *Structural Change and Economic Dynamics*, (16), 181-209.

Ayres, Robert. & Warr, Benjamin. (2009). *The economic growth engine*. Massachusetts: Edward Elgar Publishing Limited.

Banco Mundial (2014). "Base de datos Banco Mundial". Recuperado el 12 de agosto de 2014 de: <http://datos.bancomundial.org/pais/colombia>

CEPAL/OCDE (2014). *Evaluaciones del Desempeño Ambiental: Colombia 2014*. Naciones Unidas.

Cleveland, Cutler. (1987). Biophysical economics: historical perspective and current research trends. *Ecological Modelling*, (38), 47-73.

DANE (2014). "Base de datos DANE". Recuperado el 13 de Noviembre de 2013 de: <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales>

Dasgupta, Partha. & Heal, Geoffrey. (1974). The optimal depletion of exhaustible resources. *The Review of Economic Studies*, (41), 3-28.

Departamento Nacional de Planeación (DNP). *Coyuntura Económica e Indicadores Sociales: Boletín N° 26*. Departamento Nacional de Planeación.

Díaz, Darío. (2010). La Energía y la Teoría Neoclásica del Crecimiento. *SaberES*, (2), 23-39.

ENERDATA (2014). "Base de datos Enerdata". Recuperado el 2 de agosto de 2014 de: <https://estore.enerdata.net/colombia-energy.html>

Fresneda, Oscar. González, Jorge Iván. Cárdenas, Miguel Y Sarmiento, Libardo. (1996). *Reducción de la pobreza en Colombia: El impacto de las políticas públicas*. Documento de Trabajo n° 4, Proyecto Mitigación de la Pobreza y Desarrollo Social (RLA/92/009) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Quito: RLA/92/009 PNUD.

Georgescu, Nicholas. (1975). Energía y mitos económicos. *Southern Journal*, 94-121.

Global Footprint Network (2014). *World Footprint*. Recuperado el 20 de agosto de 2014 de: [www.footprintnetwork.org/atlas](http://www.footprintnetwork.org/atlas).

González, Jorge Iván. (2002). Entre la sustitución de importaciones y la apertura. En Facultad de Ciencias Económicas, *Desarrollo económico y social en Colombia. Siglo xx*. (pp. 399-425).

Granda, Catalina. (2007). Condiciones técnicas para el crecimiento sostenible en la teoría económica. *Un análisis*, (10), 105-114.

Grupo de Estudios del Crecimiento Económico (GRECO) (2002). *El crecimiento económico colombiano en el siglo XX*, Bogotá: Banco de la República y Fondo de Cultura Económica.

Hall, Charles. & Klitgaard, Kent. (2012). *Energy and the wealth of nations*. New York: Springer Science.

Heilbroner, Robert. (1968). *Vida y doctrina de los grandes economistas (2ª Ed)*. Barcelona: Ediciones Orbis.

Hotelling, Harold. (1939). The economics of exhaustible Resources, *The Journal of Political Economy*, (39), 137-175.

Manrique, Oscar. (2008). *Relaciones energía- crecimiento económico*. Disertación doctoral no publicada, Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

Martínez- Alier, Joan. & Roca, Jordi. (2000). *Economía política y economía ambiental*. México D.F: Fondo de cultura económica.

Martínez- Alier, Joan. & Schlupmann, Klaus. (1991). *La ecología y la economía*. México D.F: Fondo de cultura económica.

- Mirowsky, Philip. (1989). *More heat than light*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Misas, Gabriel. (2002). De la sustitución de importaciones a la apertura económica. La difícil consolidación industrial. En Facultad de Ciencias Económicas, *Desarrollo económico y social en Colombia. Siglo xx*. (pp. 111-134).
- Naredo, José Manuel. (1987). *Economía en evolución*. Madrid: Siglo XXI Editores.
- Ocampo, José Antonio. Comp. (2007). *Historia Económica de Colombia*, Bogotá: Editorial Planeta.
- OLADE/CEPAL/GTZ. (1995). *Colombia: Energía y desarrollo*. Bogotá: Ministerio de minas y energía.
- Peet, John. (1992). *Energy and the ecological economics of sustainability*. Washington D.C.: Island Press.
- Pérez-Rincón, Mario. (2005). Colombian international trade from a physical perspective: Towards an ecological "Prebisch Thesis". *Ecological Economics*, (59), 519-529.
- Poveda, Gabriel. (1993). *La electrificación en Colombia*. Medellín: Universidad de Medellín.
- Rivera, A. (Ed.). (2014). Hidrocarburos, Minas y Energía. Carbón. *La Nota Económica*, (Julio 2014), 58-62.
- Rivera, A. (Ed.). (2014). Hidrocarburos, Minas y Energía. Petróleo. *La Nota Económica*, (Julio 2014), 98-111.
- Robinson, James. Urrutia, Miguel. (2007). *Economía Colombiana del Siglo XX, Un análisis cuantitativo*. Fondo de Cultura Económica.
- Roca, Jordi. (1991). La teoría económica de los recursos no renovables: Un comentario crítico. *Cuadernos de Economía*, (19), 111-123.
- Roll, Eric. (1994). *Historia de las doctrinas económicas (3ª Ed.)*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Sistema de Información de Biodiversidad. (2014). Recuperado el 22 de agosto de 2014 de: <http://www.sibcolombia.net>

Solow, Robert. (1974). The economics of resources or the resources of Economics. *The American Economic Review*, (64), 1-14.

Toman, Michael. & Jemelkova, Barbara. (2003). Energy and economic development: An assessment of the state of knowledge. *The Energy Journal*, (24), 93-112.

Vallejo, Maria Cristina. Pérez-Rincón, Mario. Martínez-Alier, Joan. (2010). *Metabolic Profile of the Colombian Economy From 1970 to 2007*. FLACSO.

White, Leslie. Energy and the evolution of culture. *American anthropologist*, (45), 335-356.

Wrigley, Tony. (2010). *Energy and the English Industrial Revolution*. Cambridge: Cambridge University Press.