

Globalización y desarrollo en América Latina

Fander Falconí, Marcelo Hercowitz, Roldan Muradian, editores

Globalización y desarrollo en América Latina



ALCESD

SEDE ACADÉMICA DE ECUADOR

574
651g
ej. 2

978-67-080-000-0
978-67-080-000-0
978-67-080-000-0

BIBLIOTECA - FUJ
Fecha: 22- abril - 2004
Código: _____
Proceder: _____
Ejemplar: _____
Borrador: Flaco

© De la presente edición:
FLACSO, Sede Ecuador
Red Iberoamericana de Economía Ecológica
Páez N19-26 y Patria,
Quito - Ecuador
Telf.: (593-2) 2232030
Fax: (593-2) 2566139
www.flaco.org.ec

ISBN: 9978-67-080
Coordinación editorial: Alicia Torres
Cuidado de la edición: María Isabel Hayek y Cecilia Velasco
Diseño de portada e interiores: Antonio Mena
Imprenta: RISPERGRAF
Quito, Ecuador, 2004
1ª. edición: febrero, 2004

Índice

Presentación	9
Prólogo	
El rol de la economía ecológica en América Latina.	11
<i>Joan Martínez-Alier</i>	
Introducción	15
<i>Graciela Ferrer y Jeannette Sánchez</i>	
La perspectiva biofísica del proceso económico: economía ecológica	19
<i>Jesús Ramos</i>	
Globalización, desarrollo sustentable e identidad cultural.	49
<i>Francisco Javier Velasco Páez</i>	
Vantagens comparativas reveladas e potencial poluidor das exportações industriais brasileiras e latino-americanas – 1967 a 1997	63
<i>Maria Cecília Lustosa</i>	
Desempeño ambiental y competitividad en la industria manufacturera en México.	83
<i>Graciela Carrillo y Lilia Rodríguez Tapia</i>	
Expansão da fronteira agrícola nos cerrados brasileiros: percursos da soja das Missões até os lavrados de Roraima.	111
<i>Laura Maria Duarte y Magda Eva s. De f. Wehrmann</i>	

Impactos ambientales de las políticas de liberalización externa y los flujos de capital: el caso de Ecuador	133
<i>Fander Falconí y Carlos Larrea</i>	
Actores y lógicas racionales en los conflictos socio-ambientales. El caso del bloque 10 en Ecuador (Pastaza)	155
Guillaume Fontaine	
Integración económica y medio ambiente en América Latina.	173
<i>Roldan Muradian</i>	

La perspectiva biofísica del proceso económico: Economía Ecológica

Jesús Ramos Martín* / ¹

Resumen

La Economía clásica ha analizado tradicionalmente la relación entre el sistema económico y el medio ambiente en la forma de la consideración de los recursos naturales. Esto ha sido más tarde olvidado por la vertiente neoclásica, y recuperado de nuevo por la Economía Ecológica, tras la incorporación al análisis de elementos de la termodinámica y de la teoría de sistemas complejos. El presente documento presenta una revisión de la evolución de este pensamiento, así como una introducción a la Economía Ecológica. Asimismo, esboza la necesidad de adoptar una nueva epistemología para el análisis de la relación ambiente – sociedad en un marco de complejidad.

Introducción

El estudio de la relación entre la actividad económica y el medio que nos rodea es antiguo en Economía. No obstante, es cierto que últimamente la teo-

* El autor agradece la financiación por parte del proyecto *Desarrollo de procedimientos de mejora de la calidad de la información científica usada en la difusión sobre organismos modificados genéticamente*, del Ministerio de Agricultura Italiano. Asimismo, agradece también al Grup de Recerca Consolidat, 2001SGR 00163 de la Generalitat de Catalunya.

¹ Istituto Nazionale di Ricerca per gli Alimenti e la Nutrizione, Italia; y Departament d'Economia i d'Història Econòmica, Universitat Autònoma de Barcelona, correo electrònic: ramos@inran.it

ría económica parece haberla olvidado. Es por eso que cuando surgió la disciplina que hoy se llama *Economía Ecológica* se produjo una ruptura con la manera en la que la teoría convencional describía nuestra relación con el medio ambiente.

El presente capítulo no pretende explicar con detalle qué es lo que se entiende por *Economía Ecológica*², sino más bien describir brevemente lo que se cree que son las características principales que la hacen diferente del resto de disciplinas: la inconmensurabilidad de valores, el análisis biofísico, y sus repercusiones en términos de generación de políticas, que la hacen ser un ejemplo de lo que se conoce como *ciencia post-normal*.

La estructura de lo que sigue es, por tanto:

La Sección 2 introduce la relación existente entre el pensamiento de los fisiócratas y los economistas clásicos con el medio ambiente, poniendo el énfasis en su relación con la tierra como fuente de riqueza. La siguiente sección presenta el pensamiento neoclásico. El problema de los residuos y no sólo del acceso a los recursos se trata en la Sección 4, mientras que la Sección 5 presenta la influencia de la termodinámica sobre la *Economía Ecológica*, y evidencia su carácter biofísico. La Sección 6 presenta unas pinceladas de qué se entiende por *economía ecológica*, y la siguiente sección analiza brevemente las repercusiones de este nuevo enfoque para el análisis del comercio internacional. Finalmente, la Sección 8 profundiza en las implicaciones políticas, y por tanto en el concepto de *ciencia post-normal*, para llegar a unas conclusiones breves a continuación.

Los fisiócratas y el pensamiento clásico

Tal y como menciona Proops (1979: 125), la *Economía* no ha tenido en cuenta la energía ni los materiales en ninguno de los paradigmas, aparte de considerarlos como meros *bienes de consumo* o *factores de producción*³. Esta falta de consideración no ha tenido que ver con el medio ambiente en ge-

2 Para eso el lector puede consultar Costanza y otros (1991); Martínez-Alier (1987); Martínez-Alier y Roca Jusmet (2000), y las referencias que allí encontrará.

neral, y la tierra en particular. Así, durante la historia del pensamiento económico, los economistas han mostrado su interés en tres temas principales:

- La producción de bienes y servicios y la generación de riqueza a través de la transformación de inputs introducidos desde la naturaleza.
- La escasez de recursos.
- Las consecuencias de la producción, por ejemplo la contaminación.

Los fisiócratas se centraban en la producción, considerando la tierra como el generador final del valor de las cosas. Ellos consideraban la tierra como productora, pues nos proporcionaba un excedente que se podía obtener una vez que se habían usado unos determinados inputs (Christensen, 1989). Así, ellos tenían en mente una analogía entre los setes vivos y el aprovisionamiento de la economía⁴. Es de esta forma que tenemos que interpretar el *Tableau Economique* de Quesnay (1758), en el que intentó aplicar sus ideas cartesianas al análisis de la generación de la riqueza y del valor (ver Mirowski, 1989 y Cleveland, 1987 para más detalles). Quesnay concluyó que la producción de bienes podía ser vista como una mera transformación de materiales y alimentos extraídos de la tierra (Christensen, 1989), en lo que es, claramente, una interpretación biofísica del proceso económico.

Este enfoque hacia la parte productiva de la economía es lo que distinguió también el pensamiento clásico del neoclásico. El hecho, pero, de que prestasen más atención a la parte productiva no quiere decir que entendieran *completamente* los fundamentos biofísicos del proceso económico. Así, a pesar de que Malthus y Ricardo reconocieron que toda producción hecha por el hombre se basaba en materiales que provenían de la naturaleza, no se dieron cuenta de que se podía decir lo mismo de los productos y procesos naturales. Es decir, en sus explicaciones del proceso económico no se hizo uso de las leyes de la termodinámica, desarrolladas en los años 1840 y 1850. Con más detalle, usaron la Primera Ley de la termodinámica (conservación de la energía) para explicar la producción de manufacturas, pero no la pro-

3 Mirowski (1989: capítulos 3 y 4) tiene otra opinión y presenta algunas analogías entre la física y la economía, principalmente presentando el *valor* como una sustancia que se conserva en movimiento (1989: 186), en una clara analogía con el concepto de energía.

4 Esta idea de entender la economía como el aprovisionamiento de la *polis* viene de la distinción de Aristóteles entre *oikonomia* y *crematistica*.

ducción que provenía de la tierra, que para muchos de ellos tenía un carácter casi sagrado. No obstante, la introducción del concepto de *estado estacionario* por parte de John Stuart Mill (1866) significó un reconocimiento de los límites que la naturaleza imponía al desarrollo económico, hecho que después ha sido analizado por la Economía Ecológica⁶. Por otra parte, Malthus (1798) fue el primero que puso de manifiesto la aparente contradicción entre una población creciente y unos recursos escasos, poniendo como ejemplo la tierra cultivable. Este tipo de análisis tuvo continuación más adelante por parte de Jevons (1865) con su clásico ensayo sobre la cuestión del carbón.

A pesar de escribir después de que las leyes de la termodinámica hubieran sido formuladas, Marx no integró el trabajo de Podolinsky, un físico socialista ucraniano, en su análisis, en lo que puede interpretarse como un error miópico por parte del filósofo. Así, no usó en el desarrollo de su teoría términos de la ecología humana, como los *flujos de energía y materiales*, tal y como le recomendó Podolinsky. Si lo hubiera hecho, ranro su teoría del valor como de la evolución de los sistemas económicos habría sido diferente⁷. De hecho, las ideas de Podolinsky eran muy avanzadas para su tiempo. Podolinsky tuvo la idea de modelizar la productividad del trabajo como una función de la cantidad de energía usada para subsidiarlo. También desarrolló el concepto de *retorno energético del input energético* (*energy return on energy input*) bajo el nombre de *coeficiente económico*, y lo aplicó a los seres humanos; llegó así a la conclusión de que el hombre tiene la capacidad de transformar una quinta parte de la energía obtenida de la alimentación en trabajo muscular. Este resultado puede ser interpretado como un fundamento biofísico de la teoría del valor. Tal y como dice Martínez-Alier (1987: 51) “en economía Podolinsky pensó que había reconciliado a los Fisiócratas

5 De hecho, como dice Mirowski (1989), le ley de Say – la oferta crea su propia demanda – puede interpretarse como una aplicación del principio de conservación mencionado antes.

6 Daly (1990) distinguió entre crecimiento (incremento cuantitativo en una escala física) y desarrollo (mejora cualitativa o realización de potencialidades), permitiendo la existencia de un desarrollo cualitativo sin la necesidad de crecimiento.

7 Para un análisis en profundidad de Podolinsky y otros padres de la *energética*, así como una revisión de la relevancia del análisis energético como fundamento de la economía ecológica, véase el libro seminal de Martínez-Alier (1987).

8 Por ejemplo, si hubiera usado el trabajo de Podolinsky, su concepción de la crisis del capitalismo debido a un deterioro de las *relaciones de producción* habría cambiado hacia los límites impuestos al ulterior desarrollo de las *fuerzas productivas*, impuestos por las leyes físicas y ecológicas.

con la teoría del valor trabajo”. Sus conceptos, como resalta Cleveland (1987) han mostrado ser muy poderosos, y han sido usados después por diferentes analistas biofísicos, como Cleveland y otros (1984), y Odum (1971). Es una pena que Marx, el último de los grandes economistas clásicos con interés en el proceso productivo a través de la transformación de diferentes inputs, no hiciera uso de las lecciones del análisis termodinámico para completar su análisis del proceso económico.

El enfoque neoclásico

El enfoque neoclásico representa un cambio en el paradigma económico en el sentido de Kuhn (1962). Como dice Chtistensen (1989), a través del uso del modelo de optimización, adaptado de la mecánica analítica, la economía neoclásica cambió el foco de análisis de la dinámica productiva al análisis del valor en cambio⁹. No obstante, Jevons (1865) analizó, en *The Coal Question*, el tema de los recursos limitados como una restricción para el desarrollo, y llegó a la siguiente conclusión: un resultado paralelo al incremento en la eficiencia termodinámica en el uso del carbón era el incremento del consumo total de carbón (Martínez-Alier, 1987)¹⁰. Esta línea argumental fue posteriormente perdida, incluso por el propio Jevons, y por otros autores, cuando ignoraron los fundamentos biofísicos del capital, concentrándose en el capital financiero. Esa misma falta de interés por las materias primas puede encontrarse posteriormente en Marshall, a pesar de que fue él quien dijo que “La Meca de todo economista se encuentra en la biología económica más que en la dinámica económica” (1920: xiv).

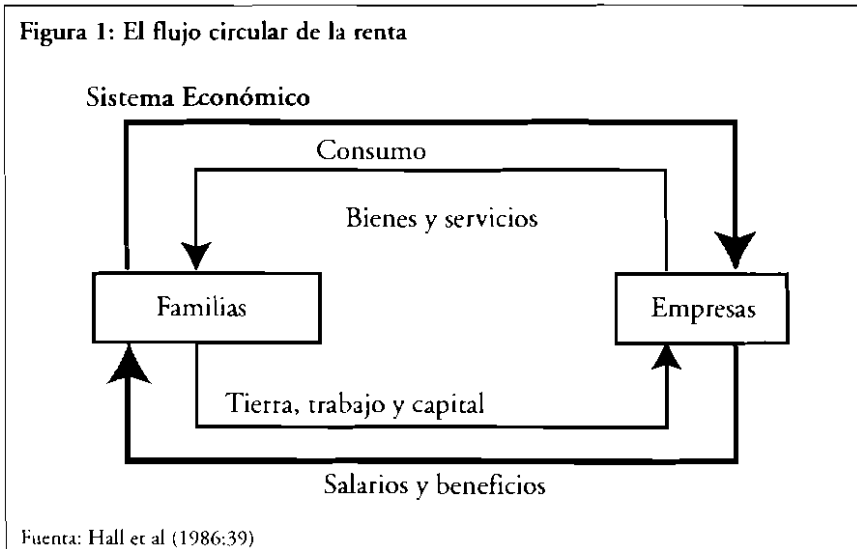
De hecho, como se ha mencionado antes, la Economía neoclásica se centra en el análisis del intercambio de bienes y servicios entre los diferentes agentes económicos, enfatizando el papel de las preferencias del consumidor y la dotación de recursos, con el fin de garantizar el equilibrio de la economía. Esto implica considerar el medio ambiente solo como una restricción más que nos viene dada.

9 Para un análisis en profundidad de la influencia de la geometría y la física en la economía neoclásica véase Mirowski (1989: capítulos 5 y 6).

10 Algo que posteriormente ha sido llamado la Paradoja de Jevons por otro académico del mismo nombre (Jevons, 1990)

Para entender mejor la Economía neoclásica, hay que tener en cuenta que sigue a la mecánica clásica en su descripción del proceso económico. Es decir, tanto la producción como el consumo y la distribución son considerados procesos singulares que pueden ser analizados de forma separada, no sólo para entenderlos, sino también para hacer predicciones. Como en la mecánica, los economistas buscan encontrar “leyes universales” que pueden ser aplicadas en cualquier momento y en cualquier lugar.

En particular, los economistas neoclásicos interpretan el sistema económico como un *sistema aislado*¹¹ en el que se intercambian unos factores de producción (tierra, capital y trabajo) y unos bienes y servicios entre las empresas y las familias, en lo que se conoce como el flujo circular del valor en cambio (o de la renta). En más detalle, las empresas pagan a las familias por los factores de producción (ingreso nacional), mientras que las familias pagan a las empresas por los bienes y servicios finales (producto nacional). Este círculo es el que se presenta en la Figura 1.



11 Véase Sección 5 para una definición de los diferentes sistemas en términos termodinámicos.

Cuando representamos el proceso económico de esta manera, estamos considerando los recursos naturales, la tecnología y las preferencias como dados. Es decir, no estamos teniendo en cuentas los fundamentos biofísicos del proceso económico, ni por el lado de la necesidad de recursos, ni por el lado de las consecuencias de la producción y el consumo en la forma de residuos: tratamos el sistema económico como si fuera una especie de caja negra (Dyke, 1994).

El flujo circular del valor en cambio o de la renta considera los recursos naturales como ilimitados. Con su énfasis en la asignación de los mercados, la teoría neoclásica no puede tratar el tema de la escala de la economía respecto al medio ambiente (Daly, 1992). Cuando, más tarde, la economía de los recursos naturales se desarrolló en el marco de la teoría neoclásica (véase Pearce y Turner, 1990; Scott, 1985), trató las amenazas de la escasez y de la contaminación usando las metodologías tradicionales de la economía. Así, los métodos que desarrolló fueron:

- Optimización en el caso de la gestión de los recursos naturales (tanto renovables como agotables).
- Asignación de derechos de propiedad sobre la contaminación (o más en general sobre las externalidades) para incorporarlas en el sistema de precios, y por tanto en el proceso de decisión dentro del mecanismo de mercado.

Lo mismo que sucede con la escala lo encontramos con la cuestión del tiempo. Dado que se sigue la mecánica, en donde todos los procesos son reversibles, sus ecuaciones y modelos son simétricos en el tiempo, es decir que el tiempo puede ser sumado o restado sin que esto afecte al modelo; podemos regresar al inicio, y por tanto no hay irreversibilidad. En este punto es interesante mencionar la distinción que hizo Georgescu-Roegen entre “tiempo” y “Tiempo”. Para Georgescu-Roegen (1971: 135), “ T representa el Tiempo, concebido como una corriente de la conciencia, o si se quiere, como una sucesión continua de *momentos*, pero t representa la medida de un intervalo (T , T) por un *reloj mecánico* (énfasis en el original).

De la limitación de los recursos a la limitación de los sumideros

Siguiendo la tradición de Gray (1913, 1914) y Hotelling (1931) cuando analizaban la tasa óptima de extracción de un recurso agotable, los economistas de los años 1960 comenzaron de nuevo a analizar la relación entre el proceso económico y el medio ambiente. El trabajo de Barnett y Morse (1963) se toma normalmente como referencia para el inicio de este *revival*. Este trabajo provocó un duro debate entre los optimistas tecnológicos (que piensan que o bien la tecnología o bien la sustitución de recursos resolverá el problema de la escasez), y los pesimistas tecnológicos. El debate se animó con la publicación del informe al Club de Roma, *The Limits to Growth*, por parte de Meadows y otros (1972), y por el embargo árabe de petróleo de 1973 (Costanza, 1989).

No obstante, a pesar de que el debate todavía continúa¹², se piensa que en el futuro inmediato las restricciones que la naturaleza impondrá al proceso económico no vendrán tanto por la parte de la escasez de recursos como por la imposibilidad para el medio de absorber las cantidades crecientes de residuos generadas por el sistema económico.

Hacia una definición de los límites: termodinámica

La Primera Ley de la termodinámica

Como se ha mencionado ya, tanto los economistas clásicos como los neoclásicos se dieron cuenta, aunque de forma parcial y de manera diferente, de los límites que impone la Primera Ley de la termodinámica sobre el proceso económico. Pero antes de continuar, repasemos la clasificación de sistemas según se entiende en la física:

12 La idea optimista de la desmaterialización de la economía (así como la de la Curva de Kuznets Ambiental) es defendida por académicos que provienen de la Ecología Industrial (como Von Weizsäcker y otros, 1997) o del Metabolismo Industrial (como Ayres, 1998) que siguen el trabajo anterior de Malenbaum (1978). Pero eso es cuestionado por otros autores más pesimistas (o tal vez realistas) como De Bruyn y Opschoor (1997), De Bruyn (1999), Herring (1999), Jevons (1990), Ramos-Martín (2001).

- *Un sistema aislado* no intercambia ni materia ni energía con su medio.
- *Un sistema cerrado* intercambia energía pero no materia con el medio.
- *Un sistema abierto* intercambia tanto energía como materia con el medio.

Tanto los sistemas aislados como los cerrados son sólo idealizaciones, útiles para desarrollar la teoría, pero en realidad siempre hay algún tipo de intercambio de energía y materiales entre un sistema y su medio (Hall et al., 1986).

La *Primera Ley de la Termodinámica*, o la ley de la conservación de la energía fue desarrollada hacia los años 1840, y nos dice que la energía no puede ser creada ni destruida, sino que se conserva. Tiene muchas implicaciones, como por ejemplo que la energía de un sistema aislado se mantiene constante. Pero en el caso de los sistemas abiertos (como es el caso de los sistemas económicos), implica que la masa de materia que tenemos en un sistema tiene que cambiar en la misma proporción a la diferencia entre la materia que entra en el sistema menos la materia que sale (Ruth, 1993: 51). Esto, en el caso de los sistemas económicos, tiene una importancia fundamental con respecto a los residuos, y a su relación con los inputs.

De hecho, la Primera Ley nos enseña que todos los inputs usados en un proceso productivo se convertirán, al final, en una mezcla de productos finales y residuos (Buenstorf, 2000). Otra aplicación de esta ley se encuentra en el análisis input-output, que, a pesar de no tener en cuenta las interacciones dinámicas entre la economía y el medio ambiente, nos da una descripción de las interacciones entre los diferentes sectores económicos y entre el sistema económico y el medio¹³.

La Segunda Ley de la Termodinámica

La Segunda Ley de la Termodinámica, o el *principio de la entropía*, es sin duda la pieza de teoría termodinámica que más ha influido en el pensamiento económico.

Antes de continuar, podemos definir la energía como la capacidad de realizar trabajo, en el sentido de la Física. El trabajo es, por tanto, una for-

13 Ver Duchin (1988, 1996), Duchin and Lange (1994), y Duchin and Szyld (1985) para una descripción de la metodología input-output para el caso ambiental, y Proops et al. (1993), para una aplicación para el caso de las emisiones de CO₂.

ma de energía, como también lo es el calor. No obstante, las dos son, de alguna manera, diferentes. Tienen diferentes *calidades*. De hecho, todo el trabajo puede convertirse en calor, pero lo contrario no es posible. Así, necesitamos una medida de la calidad de la energía, y esta medida es la *entropía*.

Tal y como nos recuerdan Faber et al. (1996), todos los procesos de cambio consumen (o disipan) energía. Cuando disipamos energía, la energía disponible o libre¹⁴ se transforma en trabajo y calor. Ese calor, no obstante, no puede convertirse de nuevo en trabajo mecánico sin añadir más energía (Hall et al., 1986: 5). Esto es lo que se conoce como la *Segunda Ley de la Termodinámica*. Más específicamente, la ley dice que la entropía (que, recordemos, es la medida de la energía no disponible) de un *sistema aislado* tiende hacia un nivel máximo. La entropía, por tanto, define diferencias de calidad entre diferentes tipos de energía. Además, la ley nos recuerda que la eficiencia relativa a toda transformación de calor en trabajo es inferior al 100%. Otra definición, en la misma tradición fenomenológica, nos dice que intercambios espontáneos de calor entre dos cuerpos sólo pueden tener lugar en una dirección, que es desde el cuerpo caliente al frío, en línea con lo que dice la experiencia (Faber et al., 1996: 99).

En términos teóricos, la entropía se puede definir así (Georgescu-Roegen, 1971: 129, 130): $DS = DQ / T$ “en donde DS es el incremento de entropía, DQ el incremento de calor transferido desde el cuerpo caliente al frío, y T es la temperatura absoluta a la que se hizo la transferencia”.

Josiah Willard Gibbs clarificó más tarde el concepto de energía, ya que distinguió entre entropía y energía libre o disponible, más tarde conocida como *exergía*. Esta distinción nos permite hablar con más propiedad y entender las definiciones anteriores en otro sentido. Así, cuando en un sistema aislado la entropía es máxima, la *exergía* tiene que ser por naturaleza cero. La *exergía* no es, por tanto, una variable que se conserve, como sí es la energía. De hecho, *exergía* es lo que la gente cotidianamente llama energía. La *exergía* puede perderse o adquirirse en cualquier proceso físico (Ayles, 1998) en forma de calor de baja temperatura. Estas características hacen pensar a algunos académicos que la *exergía* es el verdadero factor de produc-

14 En termodinámica clásica se hace la distinción entre energía libre o disponible (que puede transformarse en trabajo mecánico) y energía no disponible o limitada (que no se puede transformar en trabajo mecánico)

ción limitante. Sería, por tanto, por esta escasez que la exergía debería ser considerada de interés desde un punto de vista económico.

Después de haber introducido el concepto de entropía, ¿cuáles son sus repercusiones para el proceso económico? En primer lugar la ley excluye la reversibilidad de muchos procesos (Faber, 1985). Eso se puede ver claramente a partir de la propia formulación de Clausius de la Segunda Ley, “el calor no puede nunca, por sí solo, ir de un cuerpo con baja temperatura hacia otro con alta temperatura” (citado en Proops, 1979: 35). Esto implica, tal y como ya se ha dicho, que cualquier proceso de la naturaleza dará como resultado un aumento de la entropía. Este resultado hizo que Eddington hablase de la llamada *flecha del tiempo*, según la cual el aumento de la entropía determina la dirección del Tiempo en el sentido de Georgescu-Roegen. La implicación ambiental de esto es que cualquier uso de recursos que suponga ir más allá de los ciclos ecológicos dará lugar a una degradación del medio que será irreversible, con las consecuencias del caso para el desarrollo económico.

La segunda implicación es la de la eficiencia, dado que la segunda ley introduce los límites sobre la eficiencia en los cuales podemos usar tanto la energía como los materiales (Ruth, 1993). Así, el objetivo de la contaminación cero es físicamente imposible, especialmente si tenemos en cuenta que el reciclaje es intensivo en *exergía*. Esto quiere decir que, a pesar del reciclaje, cada vez que ocurre un proceso, más entropía es generada, dado que nunca se puede conseguir una eficiencia del 100% en la conversión.

Un aspecto final a considerar es que gracias al análisis termodinámico podemos decir que la productividad en el uso de los recursos *per se*, que tiene que ver con la eficiencia ecológica, no es suficiente para garantizar la integridad ecológica del sistema (Binswanger, 1993). Es decir, mejoras relativas en el uso de los recursos pueden ir de la mano de aumentos en el uso de los recursos en términos absolutos, y desde un punto de vista ambiental eso es lo que nos importa.

En conclusión, la entropía no tiene que ser vista como una herramienta analítica por parte de los economistas (Faber et al., 1996). Sólo debería utilizarse para entender las interacciones entre la economía y el medio ambiente, de una forma conceptual (Binswanger, 1993), de tal forma que entendamos los límites físicos que pone el medio ambiente sobre el proceso económico.

Economía Ecológica¹⁵:

El sistema económico como subsistema del sistema natural

La Economía Ecológica¹⁶ es un campo de estudio que engloba un conjunto de disciplinas (como la Economía, Sociología, Biología, Geografía, etc.) que se ha venido desarrollando en los últimos años. Toma la producción, o la transformación de la energía y los materiales, como el punto focal de análisis, tal y como había hecho el pensamiento clásico, pero usa en su análisis elementos de la termodinámica. No obstante, esto no quiere decir que no estudie también aquellos temas analizados por la economía neoclásica.

Introducción: *Oikonomia*

Aristóteles distinguió entre *crematística* y *oikonomía*. Para él, la primera era el estudio de la formación de los precios y del intercambio, algo que nosotros hoy en día relacionamos con lo que se entiende vulgarmente por *Economía* en la definición tradicional proporcionada por Robbins (1932). En contraste, *oikonomía* representaría el análisis del aprovisionamiento material del *oikos* (hogar) o de la *polis* (la ciudad-estado). Por tanto, *oikonomía* significaría hacer un análisis biofísico del proceso económico. Esto puede llamarse *Ecología Humana* o *Economía Ecológica*. Es precisamente este interés en los fundamentos biofísicos del proceso económico, regresando al pensamiento de Aristóteles y de los economistas clásicos, lo que distingue a la Economía Ecológica de la neoclásica.

Análisis energético

Este renovado interés por el análisis biofísico le debe mucho a las contribuciones de analistas energéticos como Podolinsky y Lotka. La contribución

15 No es la intención en esta sección describir en profundidad este nuevo campo de conocimiento. Para una descripción histórica del nacimiento de la Economía Ecológica, véase Martínez-Alier (1987). Para una presentación de los principales autores y temas de análisis, véase Costanza (1991). Para los últimos desarrollos véase la revista *Ecological Economics* (<http://www.elsevier.com/locate/publications/store/5/0/3/3/0/5/index.htm>), y para otra información véase la página web de la Sociedad Internacional de Economía Ecológica (<http://www.ecologicaeconomics.org>)

16 A veces también llamada *Economía Biofísica*, y después *Bioeconomía* por Georgescu-Roegen.

de Lotka al debate fue básicamente su afirmación de que la selección natural tiende a:

- Incrementar el flujo de energía que circula a través de los sistemas biológicos, e
- Incrementar la eficiencia energética de los procesos biológicos.

Más específicamente, las palabras originales de Lotka (1922: 148) fueron que “la selección natural operaría de tal forma que se incrementase la masa total del sistema orgánico, que aumentase la tasa de circulación de materia a través del sistema, y que se incrementase el flujo total de energía a través del sistema siempre y cuando existiera una fracción no utilizada de materia y energía disponible (mi traducción)”. Hay dos enfoques al análisis de Lotka. Uno es el desarrollado por Odum, que defiende la existencia de una ley universal de la evolución. La otra ve la contribución de Lotka sin ningún tipo de determinismo (O’Connor, 1991; Buenstorf, 2000), pero sólo como una mera descripción de regularidades pasadas que pueden ayudar a entender la evolución de una manera más fenomenológica.

Odum se refirió al principio de Lotka como el *maximum power principle* (Odum and Pinkerton, 1955), y lo tomó como si fuera una ley universal. Este tipo de argumentos, como dice Martínez-Alier (1987), puede llevar a ideas cercanas al *darwinismo social*¹⁷, según el cual la explicación del éxito de la especie humana, entendido como su capacidad de aprendizaje para hacer uso de las fuentes energéticas, podría ser extrapolado *intraespecíficamente* para explicar diferencias en el seno de la sociedad humana. Por el contrario, el uso de la teoría de la selección natural de forma *intraespecífica*, cuando llevamos a cabo un análisis biofísico del desarrollo económico, no debería pasar de la metáfora. O, lo que es lo mismo, teniendo en cuenta que “la asignación humana de recursos energéticos y materiales a diferentes usos no puede ser explicada solo por las ciencias naturales. La economía *no debería* llegar a ser solo ecología humana” (Martínez-Alier, 1987: 15-16, énfasis en el original, mi traducción).

17 De hecho, el mismo Lotka (1956: 304) puntualizó el hecho de que algunos autores habían intentado construir un sistema de *biodinámica* (*dinámica social*) basado en “la equivocada identificación de los precios y cantidades económicas relacionadas con el factor de la intensidad de la energía”.

En resumen, a pesar de que la Economía Ecológica se basa también en parte en las ideas de estos analistas energéticos, el análisis de Podolinsky, Lotka u otros, no debe tomarse de forma literal, sino solamente como una metáfora o una herramienta que podemos usar para mejorar nuestro entendimiento del funcionamiento de los procesos económicos desde la vertiente biofísica. Por ejemplo, la distinción introducida por Lotka en primer lugar (1956), y después propuesta por Georgescu-Roegen (1975) como concepto de trabajo para el análisis energético de la *Bioeconomía* y la sustentabilidad, entre flujos energéticos *exosomáticos*¹⁸ y *endosomáticos*¹⁹ resulta muy útil cuando analizamos los sistemas humanos. Así, energía *exosomática* puede significar cosas muy diferentes, dependiendo del estado de desarrollo de un país. En un país rico, equivale prácticamente en su totalidad a lo que se conoce como *energía comercial*, mientras que en un país más pobre puede implicar fuentes más tradicionales de energía como la energía animal, el viento, agua, y fuego (Giampietro et al., 2001). Así, algunos autores argumentan que:

la razón entre la energía exosomática y la endosomática nos indica hasta qué punto la “tecnología humana” está alimentando la capacidad de los humanos de controlar la producción y el consumo de bienes y servicios. La razón es más o menos 5/1 en la mayoría de economías de subsistencia (dado que se debe al uso de biomasa para el fuego y a la energía animal en cuanto al uso exosomático), mientras que llega hasta valores de 90/1 en los países desarrollados (Giampietro et al., 2001; véase también Giampietro, 1997)

El sistema económico como sistema abierto unidireccional

“La Economía Ecológica analiza las relaciones entre los ecosistemas y los sistemas económicos en un sentido amplio” (Costanza, 1989: 1, mi traducción). No obstante, no se piensa que sea una “ciencia y gestión de la sostenibilidad” como sí defiende Costanza (1991), sino más bien de la (no)sostenibilidad, dado que la Economía Ecológica se centra en estudiar lo que no

18 Uso de fuentes energéticas para conversiones energéticas fuera del cuerpo humano para el metabolismo social, pero que todavía operan bajo control humano.

19 Uso de la energía necesaria para el mantenimiento del metabolismo de un ser humano, es decir, conversiones energéticas ligadas a procesos humanos fisiológicos que están alimentados por energía que proviene de la alimentación (Giampietro et al., 2001).

es sostenible, es decir, aquellas situaciones en las que el desarrollo económico entra en conflicto con el funcionamiento de los sistemas.

Central a la Economía Ecológica es el reconocimiento de que los sistemas económicos no sólo afectan al medio ambiente, sino que directamente dependen de las funciones de apoyo a la vida que el propio medio nos provee para nuestra supervivencia. Es decir, hay una relación mutua, una *coevolución* (Norgaard, 1994; Gowdy, 1994). De hecho, los sistemas económicos utilizan materia y energía para mantenerse y crecer, y es esta producción y consumo de la materia y la energía la que transforma el medio que nos rodea.

Con estas herramientas de la Ecología y de la Economía, Odum (1989) distinguió entre tres tipos de ecosistemas:

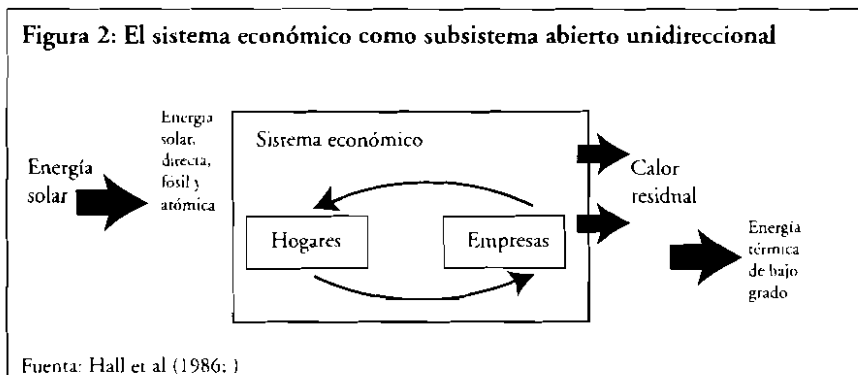
- *Ambientes naturales* o ecosistemas alimentados por la energía del sol. Estos sistemas son los que dan apoyo básico a la vida, y se auto mantienen.
- *Ambientes domesticados* o ecosistemas alimentados por la energía del sol, pero subsidiados por los seres humanos. Producen alimentos y fibras, y son apoyados por energía industrial.
- *Ambientes fabricados* o sistemas urbanos industriales alimentados por combustibles, básicamente de carácter fósil.

Usando esta distinción nos podemos dar cuenta de que los ambientes fabricados (entre los cuales se puede considerar el sistema económico) no se automantienen, y por tanto dependen del output de los otros dos tipos de sistemas.

El sistema económico puede verse como un sistema abierto unidireccional; un subsistema inmerso dentro de un sistema mayor, que es el sistema natural Tierra, el cual puede aproximarse como un sistema cerrado (ver Figura 2).

Daly²⁰ (1991: 36) llamó a esta transformación de energía y materiales el “transflujo” (*throughput* en inglés), que sería el flujo físico entrópico de materia y energía desde las fuentes naturales, a través de la economía humana, y de retorno hacia los sumideros de la naturaleza. Esto es lo que Georgescu-Roegen había descrito como el “flujo metabólico” de la sociedad.

20 Siguiendo a Bonding, como él mismo dice.



Como se puede ver en la Figura 2, el “proceso económico es sostenido por un flujo irreversible, unidireccional de energía y materiales con baja entropía desde el medio ambiente, que pasa a través del sistema económico, y regresa al medio natural en forma de energía no disponible y materiales de alta entropía” (Cleveland and Ruth, 1997: 205).

La energía solar da lugar a la producción de bienes y servicios naturales, mientras que la energía industrial (electricidad o combustibles fósiles) ayuda al sistema económico a transformar materia en productos para el consumo. Al final del proceso, el consumo de estos productos representará la generación de residuos en la forma de energía y materia degradada (con alta entropía). De esta manera nos damos cuenta de cómo tanto los sistemas naturales como los domesticados están subsidiando al sistema económico, que es un sistema fabricado.

Es verdad, pero, que la Figura 2 podría completarse con una flecha que representase el reciclaje de materiales (por parte de los seres humanos o de la naturaleza), pero hemos de tener en cuenta que el reciclaje material nunca es completo al 100%, y que el reciclaje de la energía no es factible, que es lo que explica que al final el transflujo sea unidireccional (de baja a alta entropía). Por esto, usando estas ideas de la Segunda Ley de la termodinámica, hablamos de irreversibilidad. De hecho, tal y como dijo Daly (1996: 53), “no consumimos materia/energía, sino que consumimos (usamos de forma irrevocable) la capacidad de reorganizar la materia/energía”.

Sostenibilidad fuerte

Para analizar la relación entre el sistema económico y la naturaleza, disponemos de diversos conceptos como la sostenibilidad débil y la sostenibilidad fuerte. Se entiende por sostenibilidad débil (Peatce and Atkinson, 1993) la situación producida cuando mantenemos el bienestar de la población constante o creciente (entendido como riqueza o consumo material); lo que se basa en la idea de que existe una completa capacidad de sustitución entre el capital fabricado por la humanidad y la naturaleza, y que ambos pueden ser valorados en términos monetarios. Por el contrario, la sostenibilidad fuerte (Noël and O'Connor, 1998) reconoce la existencia de una serie de bienes y servicios que nos proporciona la naturaleza (el llamado capital natural crítico) que es necesaria para mantener y regular los sistemas, y que, por tanto, no puede ser sustituida por el capital fabricado (Barbier and Markandya, 1990). En lugar de ser elementos sustitutivos, diríamos que son complementarios. Esto comporta que seguramente necesitaremos una serie de indicadores biofísicos que nos permitan conocer la calidad de los sistemas para hacer un diagnóstico más certero y promover políticas ambientales, para evitar el *reduccionismo económico* a la hora de tomar decisiones.

Implicaciones para el comercio internacional en el actual contexto de globalización económica: el caso de la intensidad energética

El hecho de considerar el sistema económico como un sistema abierto, y tener en cuenta, por tanto, la entrada de energía y materiales, nos pone de manifiesto la necesidad de llevar a cabo una lectura biofísica del proceso económico. Esto es especialmente relevante, y necesario, cuando abordamos el caso del comercio internacional. Así, en relación con este tema, en la literatura reciente en materia de Economía y medio ambiente, se ha discutido bastante sobre la idea de desmaterialización de la economía (la reducción en el tiempo de las intensidades energéticas y materiales de la producción)²¹.

Tradicionalmente (Mielnik y Goldemberg 1999: 307; Opschoor 1997), el desacoplamiento entre requerimiento de energía y materiales y la producción se ha explicado por tres factores:

21 Para una discusión en detalle de este debate, véase Ramos-Martin (2001).

- El cambio estructural en la economía, que cambia su actividad de sectores altamente intensivos en energía y materiales a otros con menor uso de los mismos,
- Mejoras en la eficiencia del uso de los recursos, y
- Cambios en los patrones de consumo

Este “determinismo del ingreso” (Unruh y Moomaw 1998: 222) implica, de acuerdo con sus defensores, que un aumento del crecimiento económico es una buena política para el medio ambiente. Sin embargo, hay dos factores más que generalmente se olvidan en el debate, y que son:

- el esperado desacoplamiento implica solo una desmaterialización débil (por unidad de PIB) pero no una absoluta (decrecimiento en el metabolismo del sistema económico), cuando ésta última debe ser la relevante desde un punto de vista ambiental, dado que el tamaño final del sistema económico afecta a su relación con el medio.
- el desacoplamiento sólo ocurre cuando el país en cuestión ha alcanzado determinado nivel de renta. Tras mirar los valores mundiales, este nivel de renta está muy lejos de ser alcanzado por la mayoría de la población.

Adicionalmente, una posible explicación a la existencia de la CKA es la idea de la *transmaterialización*, esto es, que las economías que parecen mostrar una menor intensidad de uso de un recurso natural pueden, de hecho, estar sustituyéndolo por otro, con lo que el impacto sobre el medio no tiene siempre porqué disminuir.

Sin embargo, cuando introducimos en el debate el tema del comercio internacional, podemos ver que aquellos países que muestren un descenso en su intensidad de uso pueden estar encubriendo en realidad una externalización de las actividades productivas intensivas en el consumo de recursos. Es decir, estarían exportando esas actividades intensivas en recursos, así como el impacto ambiental derivado, a los países en desarrollo (para un análisis completo sobre el tema, incluyendo estadísticas, véase (Stern et al., 1996; Suri and Chapman, 1998; y Mutadian and Martinez-Alier, 2001). En este caso, estaríamos simplemente ante una externalización de la fase de posible *rematerialización* del proceso económico (el impacto ambiental ligado a la producción de bienes de capital se traslada a los países en desarro-

llo). Sería, por tanto, un ejemplo de la internacionalización de las externalidades ambientales.

De hecho, tal y como muestra el análisis empírico (Muradian and Martinez-Alier, 2001: 289. mi traducción), “el crecimiento económico del Norte conlleva: (a) un aumento en el consumo de recursos no renovables originarios de los países en desarrollo; y (b) un empeoramiento de la relación de intercambio para los países exportadores especializados en recursos no renovables”. Por otra parte, tal y como Stern et al. (1996) apunta, esta estrategia de especialización en actividades poco intensivas en energía y materiales por parte de los países desarrollados no es aplicable a una escala global; por tanto, es imposible que todos los países muestren fases de desacoplamiento. De hecho, cuando incorporamos el comercio internacional en el estudio de la CKA (Suri and Chapman, 1998) el punto de inflexión para la curva de consumo energético (y por ende, de intensidad energética) se estima en el orden de \$224,000 per cápita, que es un nivel difícilmente alcanzable por ningún país en el futuro inmediato.

Por tanto, desde un punto de vista termodinámico, dado que sabemos que todos los inputs se convertirán eventualmente en una mezcla de outputs y residuos, y sabemos que los países desarrollados están trasladando esas actividades a los países del Sur, podemos concluir que la evidente reducción en la intensidad material del Norte lo es a expensas de una creciente *rematerialización* en los países del Sur. Este resultado pone de manifiesto las limitaciones del análisis a la escala del país, cuando introducimos el comercio internacional de recursos. Por tanto, sería recomendable un análisis al nivel de la región, o/y al nivel del producto.

En suma, cuando se introducen los elementos de la termodinámica y de los sistemas complejos al análisis del comercio internacional, nos damos cuenta de que la lectura tradicional que nos recomienda una mayor liberalización de los mercados, y por tanto un mayor crecimiento, seguramente, está dando lugar a una nueva especialización en el ámbito mundial, que implica mayores impactos ambientales en aquellos países especializados en la explotación de recursos naturales, generalmente países en desarrollo.

Implicaciones normativas: *orquestración de las ciencias* y Ciencia post-normal

La Economía Ecológica también analiza los sistemas económicos y los problemas ambientales en el marco de la teoría de los sistemas complejos. Por tanto, a diferencia de la Economía neoclásica, se centra, entre otras cosas, en la evolución de las economías, en el proceso de “llegar a ser”, en el cambio estructural, y en la aparición de la novedad (en la forma de cambio tecnológico, por ejemplo), todas ellas características mostradas por los sistemas complejos. La presencia de novedad, los mecanismos de retroalimentación entre los diferentes niveles de la jerarquía dentro del sistema, y su anticipación a los cambios, garantizan que siempre tendremos incertidumbre cuando analizamos las economías como sistemas complejos. Ésta es una de las razones para defender una nueva epistemología. De hecho, cuanto más investigación aplicamos, más incertidumbre generamos, pues aparecen nuevas preguntas y se encuentran nuevas relaciones entre las diferentes variables. En palabras de Faber y Proops cuando hablan de los problemas ambientales (1998: 110, mi traducción), “frecuentemente provocan la aparición de fenómenos impredecibles (novedad) (...) esto implica que la secuencia simple de problema Æ ciencia Æ técnica Æ solución no es necesariamente válida. Más bien al contrario, podemos experimentar que nuestra mejora en el conocimiento puede incluso dificultar la búsqueda de soluciones”. Esto provoca que la existencia de lo impredecible sea relevante para la Economía Ecológica, y especialmente para la formulación de políticas.

No obstante, los nuevos problemas ambientales, como por ejemplo la introducción de organismos modificados genéticamente en la agricultura (Giampietro 2002), se caracterizan porque los hechos son inciertos, hay valores en disputa, lo que está en juego es mucho, y las decisiones necesarias son urgentes (Funtowicz y Ravetz 1991: 137). En este contexto, la Economía Ecológica defiende una nueva epistemología para tratar la complejidad. Así, en un contexto dominado por la incertidumbre y la ignorancia (no sabemos lo que no sabemos), necesitamos un nuevo enfoque para tratar estos problemas. Las ideas aquí planteadas han sido desarrolladas bajo diferentes perspectivas que son complementarias, y que incluso a veces se solapan, como es el enfoque *post-estructural* o *posmoderno* (Denzin 1994), la *ciencia cívica* (O’Riordan 1996), o la *ciencia post-normal* (Funtowicz y Ravetz 1991).

Se dice que la Economía Ecológica es un ejemplo de ciencia post-normal (Funtowicz y Ravetz 1994).

Bajo este enfoque no se argumenta que no se pueda utilizar el conocimiento científico generado de la manera tradicional, sino que hay una serie de problemas emergentes, caracterizados por la complejidad y la incertidumbre en los que la ciencia *normal* no puede utilizar los métodos tradicionales (como la secuencia mencionada antes de problema Æ ciencia Æ técnica Æ solución).

En ciencia post-normal se admite la imposibilidad de conseguir una realidad objetiva, debido a las características inherentes cambiantes de los sistemas analizados, y debido al hecho de que toda investigación se ve afectada por los valores del investigador, por lo que no se puede hablar de una *ciencia libre de valores o neutral*. Con este trasfondo, la generación de políticas se vuelve un proceso multidimensional en el cual el investigador es sólo una de las posibles fuentes de conocimiento, entre muchas otras (como el sentido común, las creencias, etc.), que tratan de influir en el resultado final.

En la ciencia post-normal, la investigación y la generación de conocimiento no se llevan a cabo con la finalidad de proveer a quien toma las decisiones de una solución al problema, para evitarle así que sea él o ella quien tome la decisión, y legitimar sus actos. Por el contrario, la idea es crear un entendimiento contextual sobre el tema, de tal forma que mantengamos informados a todos los actores involucrados en el proceso de toma de decisiones, pero dejando que sean ellos quienes lleguen a una solución satisfactoria de compromiso. Esta solución de compromiso no tiene por objeto ser un reflejo de la *verdad*, sino una visión de la realidad construida socialmente (Clark et al. 1995: 118), un entendimiento consensuado tanto del problema como de las formas de afrontarlo.

Como dicen Kay et al. (1999: 737, mi traducción),

el programa de la ciencia post-normal consiste en proveer de una base de entendimiento necesaria para desentrañar la complejidad (aparición de novedad, la irreducible incertidumbre, la causalidad interna). De tal forma que podamos anticipar satisfactoriamente cuando eso sea posible, y adaptarnos, cuando sea apropiado o necesario, a los cambios en los sistemas auto-organizados de los que somos una parte integrada y dependiente.

En ciencia post-normal, por tanto, se asume que tanto en la ciencia como en el proceso de toma de decisiones hay juicios de valor; es por eso que tenemos que garantizar la calidad del proceso de toma de decisiones, en lugar del resultado final, dado que no existe una verdad objetiva (Funtowicz y Ravetz 1994: 200). Por eso, retomando las ideas de Simon (1983), deberíamos pasar de una racionalidad orientada al resultado final o sustantiva a otra racionalidad procedimental, en la que el hecho relevante sea la calidad del proceso de generación del conocimiento, en lugar del resultado final. Esta racionalidad procedimental implicaría una extensión de la comunidad de evaluadores de las decisiones a individuos de otras disciplinas y a aquellas personas afectadas por la decisión. El trabajo del científico consistiría, por tanto, en asumir y tratar de gestionar la incertidumbre que caracteriza cada campo para obtener información de la más alta calidad posible (Funtowicz y Ravetz 1994: 200).

Así, tanto la complejidad del sistema analizado, como el subjetivismo inherente en su descripción y entendimiento, nos hacen defender la necesidad de utilizar descripciones paralelas no-equivalentes de nuestro sistema para ganar en robustez. Esto se puede hacer utilizando, en nuestro análisis del sistema, las ideas de otras disciplinas, el sentido común, o incluso las historias populares. Esto es lo que se conoce como pluralismo metodológico (Norgaard, 1989), o *consilience* (Wilson, 1998). Los dos conceptos, sin embargo, no son más que la aplicación de la idea de Otto Neurath (1944) de la unidad dialéctica o la orquestación de las ciencias (tal y como cita Marrínez-Alier, 1987: 207), y forma parte de la base del concepto de ciencia post-normal, que también incluye conocimiento popular, no tenido en cuenta por Neurath. Es por eso que la Bioeconomía (como la llamaba Georgescu-Roegen) o la Economía Ecológica, como ciencia post-normal que es, defiende el uso de diferentes disciplinas en el análisis.

Conclusión

Resumiendo los argumentos presentados en este capítulo: se ha mostrado una evolución del pensamiento ambiental en la ciencia económica, y cómo éste ha cambiado a lo largo del tiempo. Para los fisiócratas el interés estaba en el proceso económico, que por definición es biofísico, histórico, y evolutivo. Los

economistas clásicos cambiaron hacia un interés en la escasez. El reconocimiento de la escasez puede interpretarse como un interés en definir los límites del crecimiento económico. Esto, sin embargo, no se mantuvo con los economistas neoclásicos, que se centraron en el intercambio y el equilibrio de la economía, en lugar de la producción. Es por eso que desarrollaron una serie de herramientas basadas en la mecánica clásica. Más tarde, los economistas de los recursos naturales, con esas mismas herramientas, se centraron de nuevo en la escasez y mencionaron el problema de los residuos. No obstante, su respuesta fue en la forma de *asignaciones óptimas* de recursos en el primer caso, y de definición de *derechos de propiedad* en el segundo caso. Estas soluciones, a pesar de ser de utilidad en muchos casos, están muy lejos de ser una panacea, cuando nos enfrentamos a los problemas ambientales complejos.

Cuando analizamos la relación entre la Economía y el medio ambiente, la teoría termodinámica nos ofrece argumentos muy útiles. A pesar de eso, tenemos que tener cuidado del uso que hagamos, pues los conceptos de la termodinámica tienen que ser aplicados sólo en los sistemas apropiados.

De la Primera Ley se deriva que en todo proceso todos los inputs se convierten, finalmente, en outputs. La Segunda Ley, no obstante, tiene más implicaciones. Nos proporciona limitaciones a la eficiencia de los procesos (por ejemplo el perfecto reciclaje es imposible), y debido a la irreversibilidad de la degradación de la energía (desde energía disponible a no disponible), define lo que se conoce como la Flecha del Tiempo en la evolución del sistema, en la forma de un aumento de la generación de entropía. No obstante el concepto de entropía no debería considerarse como una herramienta de análisis, sino como una base para un mejor entendimiento de la relación entre economía y medio ambiente, que apunta la necesidad de tener en cuenta la historia cuando llevamos a cabo nuestro análisis.

De la termodinámica llegamos a la conclusión de que la mayor restricción impuesta por el medio ambiente es la de hacer compatible la escala temporal humana con la escala temporal ecológica, de tal forma que podamos garantizar la sostenibilidad sin perturbar los procesos ecológicos que dan apoyo a la vida en la Tierra.

Por su parte, también se ha presentado la Economía Ecológica, que se trata de una multidisciplina que restituye el interés del análisis económico en el aprovisionamiento material del *oikos* o de la *polis*. Es decir, se interesa en los fundamentos biofísicos del proceso económico. Al hacer esta aproxi-

mación, utiliza conceptos y herramientas desarrolladas por analistas energéticos como Podolinsky, Lotka, y Odum.

La Economía Ecológica ve el sistema económico como un subsistema abierto, que se encuentra dentro del sistema natural Tierra, que es cerrado. Aquí, el proceso económico se ve como unidireccional y sostenido por un flujo continuo de energía y materiales de baja entropía, que finalmente volverán al medio ambiente degradados en la forma de calor y materiales de rechazo. Este hecho impone algunas limitaciones al crecimiento físico del subsistema, tal y como se ha mencionado para el caso de la escala.

Por último, se ha mantenido que en este contexto de complejidad e incertidumbre se necesita una nueva epistemología para analizar la relación entre el sistema económico y el medio ambiente, y que ésta era la ciencia post-normal, junto con una orquestación de las ciencias.

Referencias

- Ayres, R.U. (1998) "Eco-thermodynamics: economics and the second law", *Ecological Economics* 26: 189-209.
- Barbier, E.B., and Markandya, A. (1990) "The conditions for achieving environmentally sustainable growth", *European Economic Review* 34: 659-669.
- Barnett, H.J., and Morse, C. (1963) *Scarcity and Growth: The Economics of Natural Resource Availability*. Baltimore: John Hopkins
- Binswanger, M. (1993) "From microscopic to macroscopic theories: entropic aspects of ecological and economic processes", *Ecological Economics* 8: 209-234.
- Buenstorf, G. (2000) "Self-organization and sustainability: energetics of evolution and implications for ecological economics", *Ecological Economics* 33: 119-134.
- Christensen, P.P. (1989) "Historical roots for ecological economics – biophysical versus allocative approaches", *Ecological Economics* 1: 17-36.
- Clausius, R. (1865) *Abhandlungen über die Mechanische Wärmetheorie*. F. Vieweg, Braunschweig.
- Cleveland, C.J. (1987) "Biophysical economics: historical perspective and current research trend", *Ecological Modelling* 38: 47-73.

- Cleveland, C.J., and Rurh, M. (1997) "When, where, and by how much do biophysical limits constraint the economic process: A survey of Nicholas Georgescu-Roegen's contribution to ecological economics", *Ecological Economics* 22: 203-224.
- Cleveland, C.J., Costanza, R., Hall, C.A.S., and Kaufmann, R. (1984) "Energy and the U.S. economy: a biophysical perspective", *Science* 225: 890-897.
- Costanza, R. (1989) "What is ecological economics?", *Ecological Economics* 1: 1-7.
- Costanza, R. (ed.) (1991) *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*. New York: Columbia University Press
- Daly, H.E. (1990) "Toward some operational principles of sustainable development", *Ecological Economics* 2:1-6.
- Daly, H.E. (1991) *Steady State Economics: Second Edition with New Essays*. Washington DC.: Island Press.
- Daly, H.E. (1992) *Steady-State Economics*. London: Earthscan Publications
- Daly, H.E. (1996) "Consumption: value added, physical transformation and welfare", in Costanza, R., Segura, O., and Martinez-Alier, J. (eds.): *Getting Down to Earth*. Washington DC.: Island Press
- de Bruyn, S.M. (1999) "The need to change attractors", *Ökologisches Wirtschaften* 3: 15-17.
- de Bruyn, S.M., and Opschoor, J.B. (1997) "Developments in the throughput-income relationship: theoretical and empirical observations", *Ecological Economics* 20: 255-268.
- Denzen, N. (1994) "The art and politics of interpretation", in Denzen, N., and Lincoln, Y. (Eds.): *Handbook of Qualitative Research*. London: Sage Publications.
- Duchin, F. (1988) "Analyzing structural change in the economy", in Ciaschini, M. (ed.): *Input-Output Analysis: Current Developments*. London: Chapman and Hall.
- Duchin, F. (1996) "Ecological economics: the second stage", in Costanza, R., Segura, O., and Martinez-Alier, J. (eds.): *Getting Down to Earth*. Washington DC.: Island Press
- Duchin, F., and Lange, G. (1994) *The Future of the Environment: Ecological Economics and Technological Change*. New York: Oxford University Press.

- Duchin, F., and Szyld, D. (1985) "A dynamic input-output model with assured positive output", *Metroeconomica* 37: 269-282.
- Faber, M. (1985) "A biophysical approach to the economy entropy, environment and resources", in van Gool, W., and Bruggink, J. (eds.): *Energy and Time in Economic and Physical Sciences*. Amsterdam: North-Holland.
- Faber, M. and Proops, J.L.R. (1998) *Evolution, Time, Production and the Environment*. Berlin: Springer.
- Faber, M., Manstetten, R., and Proops, J.L.R. (1996) *Ecological Economics: Concepts and Methods*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Funtowicz, S.O., and Ravetz, J.R. (1991) "A new scientific methodology for global environmental issues", in Costanza, R. (ed.): *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*. New York: Columbia University Press.
- Funtowicz, S.O., and Ravetz, J.R. (1994) "The worth of a songbird: Ecological economics as a post-normal science", *Ecological Economics* 10: 197-207.
- Georgescu-Roegen, N. (1971) *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Georgescu-Roegen, N. (1975) "Energy and economic myths", *Southern Economic Journal* 41:347-381.
- Giampietro, M. (1997) "Linking technology, natural resources, and the socioeconomic structure of human society: a theoretical model", *Advances in Human Ecology*, vol. 6: 75-130.
- Giampietro, M. (2002) "The precautionary principle and ecological hazards of genetically modified organisms", *Ambio*, Vol. 31 (6): 466-470.
- Giampietro, M., Mayumi, K., and Bukkens, S.G.F. (2001) "Multiple-Scale Integrated Assessment of Societal Metabolism: An Innovative Approach to Development and Sustainability", mimeo.
- Gowdy, J.M. (1994) *Coevolutionary Economics: The Economy, Society, and the Environment*. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers.
- Gray, L.C. (1913) "The economic possibilities of conservation", *Quarterly Journal of Economics* 27: 497-519.
- Gray, L.C. (1914) "Rent under the presumption of exhaustibility", *Quarterly Journal of Economics* 28: 466-489.

- Hall, C.A.S., Cleveland, C.J., and Kaufmann, R.K. (1986) *The Ecology of the Economic Process: Energy and Resource Quality*. New York: John Wiley & Sons.
- Herring, H. (1999) "Does energy efficiency save energy? The debate and its consequences", *Applied Energy* 63: 209-226.
- Hotelling, H.C. (1931) "The economics of exhaustible resources", *The Journal of Political Economy* 39: 137-175.
- Jevons, F. (1990) "Greenhouse: A paradox", *Search* 21 (5)
- Jevons, W.S. (1865) *The Coal Question; An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines*. London: Macmillan.
- Kay, J.J., Regier, A.H., Boyle, M., and Francis, G. (1999) "An ecosystem approach for sustainability: addressing the challenge for complexity", *Futures* 31: 721-742.
- Kuhn, T.S. (1962) *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago: Chicago University Press.
- Lotka, A.J. (1922) "Contribution to the energetics of evolution". *Proc. Nat. Acad. Sci.* 8: 147-154.
- Lotka, A.J. (1956) *Elements of Mathematical Biology*. New York: Dover Publications.
- Malenbaum, W. (1978) *World Demand for Raw Materials in 1985 and 2000*. New York: McGraw-Hill.
- Malthus, T.R. (1778) *An Essay on Population*. London: Ward, Lock and Company.
- Marshall, A. (1920) *Principles of Economics*. London: Macmillan.
- Martínez-Alier, J. (1987) *Ecological Economics: Energy, Environment, and Society*. Oxford: Blackwell's Book Services.
- Martínez-Alier, J. and Roca Jusmet, J. (2000) *Economía ecológica y política ambiental*, México: PNUD
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., and Behrens, W.W. (1972) *The Limits to Growth*. London and Sydney: PAN Books Ltd.
- Mielnik, O., and Goldemberg, J., (1999) "The evolution of the 'carbonization index' in developing countries", *Energy Policy* 27: 307-308.
- Mill, J.S. (1866) *Principles of Political Econom*. London: Longman-Green.
- Mirowski, P. (1989) *More Heat Than Light*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Neurath, O. (1944) *Foundations of the Social Sciences*. Chicago: University of Chicago Press.
- Muradian, R., y Martínez-Alier, J. (2001). "Trade and the environment: from a 'Southern' perspective", *Ecological Economics* 36: 281-297.
- Noël, J.F., and O'Connor, M. (1998) "Strong Sustainability and Critical Natural Capital", in Faucheux, S., and O'Connor, M. (eds.) *Valuation for Sustainable Development. Methods and Policy Indicators*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Norgaard, R.B. (1989) "The case for methodological pluralism", *Ecological Economics* 1: 37-57.
- Norgaard, R.B. (1994) *Development Betrayed*. London: Routledge
- O'Connor, M. (1991) "Entropy, structure, and organisational change", *Ecological Economics* 3: 95-122.
- O'Riordan, T. (1996) "Democracy and the sustainable transition", in Lafferty, W.M., and Meadowcroft, J. (eds.): *Democracy and the Environment. Problems and Prospects*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Odum, H.T. (1971) *Environment, Power, and Society*. New York: John Wiley & Sons.
- Odum, E.P. (1989) *Ecology and Our Endangered Life-Support Systems*. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates.
- Odum, H.T., and Pinkerton, R.C. (1955) "Time's speed regulator: the optimum efficiency for maximum power output in the physical and biological systems", *American Scientist* 43: 331-343.
- Opschoor, J.B., (1997). "Industrial metabolism, economic growth and institutional change", in Redclift, M., and Woodgate, G. (eds.): *The International Handbook of Environmental Sociology*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Pearce, D., and Arkinson, G.D. (1993) "Capital theory and the measurement of weak sustainable development: and indicator of 'weak' sustainability", *Ecological Economics* 8: 103-108.
- Pearce, D., and Turner, K. (1990) *Economics of Natural Resources and the Environment*. Great Britain: Harvester Wheatsheaf.
- Proops, J.L.R. (1979) *Energy, Entropy and Economic Structure*. PhD Thesis, Keele University.
- Proops, J.L.R., Faber, M., and Wagenhals, G. (1993) *Reducing CO₂ Emissions. A Comparative Input-Output Study for Germany and the UK*. Berlin: Springer-Verlag.

- Quesnay, F. (1758) "Tableau Economique", in Kuczynski, M., and Meek, R.L. (1972)(eds.): *Quesnay's Tableau Economique*. London: Macmillan.
- Ramos-Martin, J. (2001): "Historical analysis of energy intensity of Spain: from a "conventional view" to an "integrated assessment", *Population and Environment* 22: 281-313.
- Robbins, L. (1932): *An Essay on the Nature and Significance of Economic Science*. London: Macmillan.
- Ruth, M. (1993) *Integrating Economics, Ecology and Thermodynamics*. Dordrecht: Kluwer.
- Scott, A. (1985) *Progress in Natural Resource Economics*. Oxford: Clarendon Press.
- Simon, H.A. (1983) *Reason in Human Affairs*. Stanford: Stanford University Press.
- Stern, D.I., Common, M.S., and Barbier. E.B., (1996) "Economic growth and environmental degradation: The environmental Kuznets curve and sustainable development", *World Development* 24: 1151-1160.
- Suri, V., and Chapman, D., (1998) "Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets curve", *Ecological Economics* 25: 195-208.
- Unruh, G.C., and Moomaw, W.R. (1998) "An alternative analysis of apparent EKC-type transitions", *Ecological Economics*, 25: 221-229.
- Von Weizsacker, E.U., Lovins, A.B., and Lovins, L.H. (1997) *Factor Four. Doubling Wealth, Halving Resource Use*. London: Earthscan.
- Wilson, E.O. (1998) *Consilience*. New York: Alfred Knopf.