

EMPIRISMO EN ECONOMÍA ECOLÓGICA: UNA VISIÓN DESDE LA TEORÍA DE LOS SISTEMAS COMPLEJOS

Jesús Ramos-Martín*

Fecha de recepción: 22 de enero de 2002

Fecha de aceptación y versión final: 8 de febrero de 2003

Resumen: Las economías son sistemas complejos abiertos, lejos del equilibrio termodinámico, y la economía neo-clásica no parece siempre la forma más adecuada de describir su comportamiento. El análisis econométrico tradicional toma un punto de vista determinista y predictivo, que fomenta la búsqueda de políticas predictivas para “corregir” los problemas ambientales. No obstante, parece que, debido a las características de los sistemas económicos, un análisis ex-post es más adecuado en determinados ámbitos, pues describe la aparición de las propiedades emergentes de esos sistemas, y ve a la política como un mecanismo de dirección social. Con esta información se presenta parte del reciente trabajo empírico publicado en la revista *Ecological Economics* que pienso sigue el enfoque descrito aquí. Además, también se mencionará un proyecto reciente en que el autor ha estado involucrado pues, de nuevo, supone un ejemplo del punto de vista defendido aquí para el empirismo. Finalmente, se alcanzará la conclusión de que no es posible una econometría ecológica de carácter predictivo. Esto, no obstante, no implica que no se deba llevar a cabo análisis empírico. Muy al contrario, éste debe promoverse, pero desde un punto de vista ex-post y estructural.

Palabras clave: Economía ecológica, economía neo-clásica ambiental, empirismo, econometría predictiva, incertidumbre, sistemas complejos, ciencia post-normal.

Abstract: Economies are open complex adaptive systems far from thermodynamic equilibrium, and neo-classical environmental

* Profesor asociado de Economía de los Recursos Naturales en la Universitat Autònoma de Barcelona y candidato a doctor por el doctorado de Ciencias Ambientales de la misma universidad.

economics is not the best way to describe the behaviour of such systems. Standard econometric analysis takes a deterministic and predictive approach, which encourages the search for predictive policy to correct environmental problems. Rather, it seems that, because of the characteristics of economic systems, an ex-post analysis is more appropriate, which describes the emergence of such systems properties, and which sees policy as a social steering mechanism. With this background, some of the recent empirical work published in the field of ecological economics that follows the approach defended here is presented. Finally, the conclusion is reached that a predictive use of econometrics in ecological economics is not possible. However, that does not mean we should not use empirical analysis. On the contrary, this is to be encouraged, but from a structural and ex-post point of view.

Keywords: Ecological economics, neo-classical environmental economics, empiricism, predictive analysis, complexity, post-normal science.

1. Introducción

La economía ecológica entre otros aspectos trata, y está relacionada con, la generación de políticas, y para ello necesita información cuantitativa tanto sobre los sistemas humanos como sobre los naturales. El objetivo del presente artículo es analizar brevemente el rol del empirismo en el marco de la economía neo-clásica ambiental y de la economía ecológica. Después, el artículo defiende un análisis fenomenológico y ex-post para tratar con la complejidad de las economías modernas, dando ejemplos de cierto trabajo empírico realizado bajo este enfoque. Se defiende, por tanto, que como economistas ecológicos deberíamos concentrarnos en este tipo de análisis para generar un mejor entendimiento de la evolución de los sistemas.

Se resaltarán los conceptos que subyacen tras la economía neo-clásica ambiental y la economía ecológica, para subrayar que la primera hace unos supuestos implícitos fuertes sobre el funcionamiento de los sistemas que analiza (sistemas económicos). Estos supuestos no son compatibles ni con las principales características de los actuales sistemas ambientales complejos ni con la naturaleza de las economías cuando se trata de analizar la evolución de las mismas, a pesar de que pueden ser útiles para el análisis de mercados singulares.

La estructura del resto del artículo es como sigue: la sección 2 se centra en las estructuras conceptuales de la economía ecológica y la economía neo-clásica ambiental desde un punto de vista evolutivo basado en el concepto de tiem-

po. Para la primera, la evolución, el cambio estructural, la aparición de novedad y la impredecibilidad serán resaltados como propiedades emergentes del aumento de la complejidad de las economías. Para la segunda, la constancia de la estructura subyacente es el principio fundamental, asumiendo, por ejemplo, relaciones estables entre las variables y entre los parámetros que describen a los sistemas.

La sección 3 presenta el debate sobre el rol de las políticas para la sustentabilidad. Esta sección muestra como las “expectativas racionales” y la economía ecológica se encuentran en los extremos del espectro cuando consideramos la importancia de las políticas. La teoría de las expectativas racionales argumenta que las políticas son inefectivas porque los agentes tienen la capacidad de predecir siempre los cambios, y adaptarán su comportamiento, haciéndolas, por tanto, inefectivas. Por otra parte, la economía ecológica, una vez se han encontrado y definido unos objetivos ambientales (como por ejemplo ciertos umbrales críticos para el mantenimiento y desarrollo de los sistemas), se centra en afectar el comportamiento de los agentes a través de la implementación de políticas; es decir, la política es vista como un mecanismo de dirección social. En algún lugar en medio se puede encontrar a la economía neo-clásica ambiental, que se centra en identificar los fallos del mercado y encontrar las medidas correctoras que los internalicen, originando soluciones óptimas (paretianamente).

La sección 4 presenta la posición de estas tres escuelas de pensamiento económico sobre el análisis empírico, centrándose en el tiempo y la evolución. El argumento estará basado en la distinción entre el enfoque positivista y el fenomenológico dentro del análisis empírico. Así, la teoría de las expectativas racionales es atemporal: dado que el enfoque se puede aplicar en cualquier lugar y sin tener en cuenta el tiempo, es a-histórica. La economía neo-clásica ambiental, por otra parte, usa el empirismo para analizar los datos y con este análisis hace predicciones ex-ante sobre el comportamiento futuro de las variables y de los sistemas. En este sentido, asume que la política predictiva funciona. La economía ecológica, sin embargo, se centraría en un análisis ex-post de los sistemas, debido a sus características específicas y cambiantes, y miraría a la aparición de las propiedades de los sistemas. Así, en lugar de estar a favor de la política predictiva, lo estaría a favor del análisis estructural.

Con esta información, la sección 5 menciona algunas de las últimas publicaciones con análisis empírico aparecidas en la revista *Ecological Economics*, y que son un ejemplo de lo que creo debería ser el análisis empírico cuando estamos tratando con complejidad en economía ecológica.

Finalmente, la sección 6 alcanza la conclusión de que no es posible un uso predictivo de una posible econometría ecológica. Por el contrario, parece que cuando estamos analizando sistemas complejos, los economistas ecológicos deberíamos usar un análisis fenomenológico y ex-post que puede también incluir, como una parte, un análisis econométrico no predictivo. Se presenta, a su vez, un posible camino a seguir en cuanto al análisis empírico en economía ecológica, así como su relación con la formulación de políticas.

2. Estructuras conceptuales en economía ecológica y en economía neo-clásica ambiental

2.1. Economía neo-clásica

La economía neo-clásica se centra en analizar el intercambio de bienes y servicios de los agentes económicos tales como productores y consumidores, enfatizando el papel que juegan las preferencias de los consumidores así como las dotaciones de recursos, para garantizar el equilibrio de la economía. Tal y como menciona Ruth (1993: 18) las principales características de este enfoque son su concentración en los mecanismos de mercado, en la microeconomía en lugar de la macroeconomía, el análisis estático (obviando la historia de los procesos), la linealidad¹, y la consideración del medio ambiente sólo como una restricción dada. Esto significa que la metodología desarrollada por la economía neo-clásica, la teoría del equilibrio general, garantiza el logro de una solución en la asignación de recursos escasos (Faber et al. 1996: 49).

Para entender mejor a la economía neo-clásica podemos pensar que sigue a la mecánica clásica en su descripción del proceso económico. Esto es, tanto la producción como el consumo o la distribución pueden considerarse como procesos individuales que pueden ser analizados separadamente para conseguir no sólo entenderlos, sino también hacer posible su predicción. En palabras de Georgescu-Roegen (1971: 319), es una “analogía mecánica”. Como en la mecánica, los economistas buscan “leyes universales” que puedan ser aplicadas en cualquier lugar y con independencia del tiempo. Una vez que estas leyes se han definido y se han aceptado unos axiomas o principios básicos, entonces este tipo de economía debe ser una ciencia teórica, deductiva y determinista, capaz de encontrar *soluciones óptimas únicas*.

Con su énfasis en la asignación en los mercados, la teoría neo-clásica no puede tratar con el tema de la escala de la economía con respecto al medio ambiente (Daly 1992). Esto es así porque se supone que su análisis es el mismo a pesar del espacio o del tiempo. Esta es una diferencia fundamental respecto a la economía ecológica, como veremos más tarde, dado que es precisamente el tema de la definición de las fronteras de los sistemas uno de los relevantes para esta disciplina.

El mismo problema que aparece con la escala está presente cuando tenemos en cuenta el tiempo. Dado que la economía neo-clásica sigue a la mecánica, en donde todos los procesos son reversibles, sus ecuaciones y modelos son también “temporalmente simétricos”, donde el tiempo es tan solo una magnitud cardinal que puede ser sumada o restada (Beard y Lozada 1999: 31). Llegados a este punto, merece la pena mencionar la distinción que hizo Georgescu-Roegen entre “tiempo” y “Tiempo”. Usando sus propias palabras (1971: 135), “*T* representa el

¹ En este sentido tenemos que recordar el dictum de Marshall *Natura non facit saltum*, que, tal y como menciona Gould (1992: 10), se lo apropió de Linnaeus a través de Leibnitz y Darwin

Tiempo, concebido como el raudal de la conciencia o, si lo prefiere, como una sucesión continua de “momentos”, pero t representa la medida de un intervalo (T' , T'') por un *reloj mecánico*” (énfasis en el original). La teoría neo-clásica reclama que su teoría es válida en todas las sociedades, esto es, que es a-histórica, porque está considerando el *tiempo* en lugar del *Tiempo*.

La economía de los recursos naturales, o la economía neo-clásica ambiental, trata con el medio ambiente analizando las amenazas de la escasez de recursos y la contaminación usando las ideas tradicionales descritas más arriba. Los métodos que ha desarrollado han sido: (i) la optimización para el caso de la gestión de recursos naturales (tanto renovables como agotables), y (ii) la asignación de derechos de propiedad sobre la contaminación (o más generalmente sobre las externalidades) para incorporarlas en el sistema de precios, y así, en el proceso de toma de decisiones dentro del mecanismo de mercado. Por esto, los defensores de este enfoque son normalmente optimistas con respecto a los problemas ambientales. Por ejemplo, en el caso de los recursos agotables proponen la sustitución entre factores de producción, sin tener en cuenta dos cosas. Por una parte, hay servicios provistos por la naturaleza que no se pueden sustituir de ninguna forma (como el ciclo hidrológico o del carbono). Por otra parte, desde una perspectiva física, la sustitución no puede reemplazar la energía por completo porque cada factor de producción depende en última instancia de un input neto de energía para su propia producción y mantenimiento (Hall et al. 1986: 46). Habría que entender, por tanto, la relación de la energía con el resto de factores de producción como una relación de complementariedad más que como una de sustituibilidad.

Todas estas características de la economía neo-clásica y de su rama ambiental la han llevado a ser considerada como insatisfactoria al tratar con los nuevos problemas complejos, tales como los problemas ambientales y la evolución de los sistemas económicos, a pesar de que muchos de sus preceptos son perfectamente válidos para el análisis de mercados singulares. Clark et al. (1995: 9/10) señalaron que el carácter mecánico de los modelos económicos no les permite tratar la evolución o los cambios estructurales de los sistemas. Este hecho ha llevado a proponer nuevos enfoques, entre otros parte de los desarrollados desde la economía ecológica.

2.2. Las economías como sistemas complejos

Las economías son sistemas complejos, esto es, compuestos de un gran y creciente número de componentes y de las relaciones entre ellos. Las economías también son sistemas teleológicos (tienen un objetivo, un fin, un telos), pero de forma diferente a los sistemas no-humanos, que sólo tienen aquel del auto-mantenimiento y desarrollo de los sistemas; las economías incorporan nuevos “tele”, aquellos de los humanos que pertenecen al sistema. Además son capaces de incorporar las consecuencias previstas del cumplimiento de esos objetivos en la toma de decisiones presente y en la definición de nuevos “tele”; las economías son, por tanto, sistemas anticipativos. También aprenden de los errores y de los

desarrollos actuales, y reaccionan cambiando tanto las acciones que se llevan a cabo como los nuevos “tele” definidos; son, por tanto, auto-reflexivos. También tienen la habilidad de adaptarse a las condiciones frontera cambiantes (una propiedad que también muestran los sistemas no-humanos), pero pueden cambiar conscientemente esas condiciones frontera. Por esto, podemos entender a las economías, como sistemas humanos, como sistemas complejos, adaptativos, auto-reflexivos, y conscientes².

Cuando analizamos su estructura, los sistemas económicos son sistemas jerárquicos. En el caso de los sistemas económicos, podemos distinguir multitud de subsistemas en su interior como son los diversos sectores económicos, y cada sector se puede dividir en diferentes “tipos” industriales (compartiendo características comunes), etc. Los varios niveles de una economía interaccionan entre ellos intercambiando actividad humana y energía, reflejando la naturaleza interconectada y la co-evolución de estos sistemas (el producto de un sector entra en otro sector como input, y viceversa).

Así, la creciente complejidad de las economías, su estructura jerárquica, y el hecho de que muestran un comportamiento adaptativo y evolutivo, da lugar a dos resultados paralelos. Uno es el comportamiento no lineal, que puede llegar incluso a ser caótico. Este es un proceso a corto plazo que involucra a una estructura dada y la dificultad de entenderla usando los métodos de análisis tradicional. El otro es la aparición de novedad, que es a largo plazo, y que involucra cambios en las estructuras. Una forma alternativa de presentar esto es usando los conceptos de evolución fenotípica (diferentes realizaciones de las potencialidades del sistema, que son susceptibles de predicción) y evolución genotípica (aparición de nuevas instituciones o técnicas, que por definición son impredecibles; esto es, nuevas potencialidades) (Faber y Proops: 1998: 60)³. Por tanto, se trata de sistemas que son contextuales por naturaleza, dependiendo de una determinada escala temporal y espacial, y así deben ser analizados, tomando en cuenta una determinada escala temporal y espacial. Además, debido a esas mismas características y al hecho de que al ser anticipativos incorporan los posibles futuros estados a la hora de tomar decisiones en el presente, puede haber múltiples equilibrios.

Si este es el caso y no podemos encontrar regularidades o periodicidad en la evolución a largo plazo de los sistemas, éstos serían impredecibles. Esto es así porque cuando el sistema sufre un cambio repentino que lo hace moverse de un atractor a otro gracias a una fluctuación fortuita, un pequeño cambio en los parámetros puede tener grandes consecuencias (Gleick 1987: 19). Este es el llamado “efecto mariposa”, que fue llamado posteriormente “dependencia sensitiva de las condiciones iniciales”. Si esto sucede, nunca más podemos obviar las pequeñas influencias sobre los sistemas; esto hace que la modelización y la predicción sean

² Para un análisis en profundidad de los ecosistemas y los sistemas humanos como sistemas complejos, así como sus principales características y las consecuencias para la ciencia, ver Kay y Regier (2000).

³ Ver Faber y Proops (1998), principalmente pp. 144-150 para un análisis detallado de la predicción de los procesos.

más difíciles. En este sentido, tenemos que considerar el futuro como abierto e incierto bajo un mundo no lineal⁴. (Haken y Knyazeva 2000: 72).

No obstante, este comportamiento caótico da lugar a nuevas estructuras ordenadas dentro de los sistemas que pueden analizarse desde la teoría de los sistemas complejos. En palabras de Haken y Knyazeva (2000: 59), “aunque el futuro esté abierto, y hay un número de posibles sendas evolutivas para un sistema complejo, no es cierto que cualquier senda evolutiva arbitraria (concebible o deseable) sea posible en un sistema dado”. Esto es así porque la historia cuenta, y una vez que una senda se ha tomado (por ejemplo un modelo de desarrollo), otras se cierran para siempre. Esto reduce el número de posibles atractores, e induce, de nuevo, un comportamiento no lineal en el desarrollo del sistema. Refleja, a su vez, irreversibilidad. En este contexto, una de las formas de mejorar nuestro conocimiento es encontrando regularidades históricas que pueden reflejar las propiedades emergentes de los sistemas. No obstante, tenemos que tener en cuenta que incluso si encontramos regularidades, puede no haber ninguna relación causal entre los procesos o variables. Incluso es posible que no aparezcan regularidades en absoluto a pesar de que existan relaciones causales entre los factores analizados (Ramsay 1998: 168).

Así, a pesar de que el futuro esté abierto, sólo algunas de las sendas evolutivas son factibles y se pueden desarrollar, dando lugar a nuevos atractores. Haken y Knyazeva (2000: 65) nos recuerdan que sólo pueden darse aquellas estructuras que estén de acuerdo con las tendencias evolutivas internas de los sistemas, y que el único resultado que podemos encontrar es el de estructuras meta-estables. Esto es lo que ellos llaman leyes evolutivas de prohibición. Estas leyes nos dicen que no podemos tener un equilibrio, y que las estructuras meta-estables deben ser compatibles con las restricciones internas del sistema. Así, de forma contraria a las leyes de la física o la economía neo-clásica, estas leyes no nos dicen nada acerca de qué tipo de sistemas o soluciones nos vamos a encontrar, sino acerca de lo que no podemos encontrarlos.

2.3. Economía ecológica

La economía ecológica toma a la producción, o la transformación de energía y materiales, como uno de los puntos centrales de análisis, tal y como hizo el pensamiento económico clásico. No obstante, también incorpora ideas derivadas de la termodinámica, como la segunda ley que introduce el concepto de irreversibilidad. Se trata, por tanto, de una ciencia evolutiva, pues una ciencia evolutiva trata con eventos históricos, y los procesos entre los eventos; es decir, trata con el tema del tiempo. Usando la distinción de Georgescu-Roegen sobre el tiempo, se puede decir que una ciencia evolutiva como la economía ecológica trata con el “Tiempo”, mientras que la economía neo-clásica trata con el “tiempo”.

La economía ecológica también analiza los nuevos sistemas complejos

⁴A lo largo del documento se utiliza el concepto “no lineal”, cuando en mi opinión sería más correcto hablar de “no continuo”. Sin embargo, he preferido utilizar el primer concepto dado que es el más utilizado en la literatura de sistemas complejos.

ambientales, tal y como se ha dicho anteriormente. La economía ecológica, por tanto, a diferencia de la economía neo-clásica ambiental 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 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, y su anticipación, aseguran que siempre tendremos la presencia de incertidumbre cuando analicemos estos sistemas. Esta es una de las razones para abogar por una nueva epistemología, tal y como se hace en la sección siguiente. De hecho cuanta más investigación aplicamos, más incertidumbre generamos, aparecen nuevas preguntas, y se encuentran nuevas relaciones entre las variables. En palabras de Faber y Proops cuando hablan de los problemas ambientales (1998: 110), “muy a menudo provocan la aparición de eventos impredecibles (novedad) (...) esto implica que la secuencia simple de problema \rightarrow ciencia \rightarrow técnica \rightarrow solución no es necesariamente válida. Por el contrario, podemos experimentar que nuestra mejora en el conocimiento puede incluso impedir la búsqueda de soluciones”. Esto provoca que la impredecibilidad sea relevante para la economía ecológica, y especialmente para la formulación de políticas.

3. El papel de las políticas

En economía, el papel de la política se ve de forma muy diferente dependiendo de la escuela de pensamiento que tomemos en consideración. La teoría de las expectativas racionales argumenta que la política es inefectiva ya que los agentes siempre predecirán los cambios en la misma y adaptarán su comportamiento racional para hacerla inefectiva. Esta posición extrema se basa en las ideas de la economía neo-clásica que se han explicado en la sección 2.1, y tal y como se vio en las secciones 2.2 y 2.3 no pueden aplicarse en su totalidad a las economías modernas, al menos si lo que nos interesa es analizar su evolución en el tiempo. Por esto no se está de acuerdo con este enfoque.

La economía neo-clásica ambiental, no obstante, mantiene una posición no tan extrema, y así, concibe la existencia de la política basada en el análisis económico. Analiza los fallos de mercado que provocan la existencia de externalidades, y trata de diseñar políticas para “corregir” estos fallos, y, eventualmente, obtener la optimalidad. Para ello, usa las herramientas descritas con anterioridad, así como los modelos derivados del análisis econométrico.

Sin embargo, los nuevos problemas ambientales se caracterizan porque los hechos son inciertos, hay valores en disputa, las apuestas son altas y las decisiones que se necesitan son urgentes (Funtowicz y Ravetz 1991: 137), tal y como vimos en la sección 2.2 cuando analizábamos las economías complejas. 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. Estas

ideas han sido desarrolladas bajo diferentes enfoques que son complementarios, y que incluso muchas veces se solapan, como el enfoque “post-estructural” o “pos-moderno” (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 nuevo paradigma no se argumenta que no se pueda utilizar el conocimiento científico generado de la forma tradicional, sino que existen algunos problemas emergentes caracterizados por la complejidad y la incertidumbre en los que la ciencia “normal” no puede utilizarse mediante los métodos tradicionales (como la secuencia mencionada antes de problema \rightarrow ciencia \rightarrow técnica \rightarrow solución).

En ciencia post-normal se admite la imposibilidad de lograr una realidad objetiva debido a las características inherentes cambiantes de los sistemas analizados, y por el hecho de que toda investigación se ve influida por los valores del investigador, por lo que no existe una ciencia libre de valores o neutral. Con este trasfondo, la generación de políticas se convierte en 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 trata 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 al tomador de decisiones con una solución al problema para evitarle así que él tome la decisión, y legitimar todos 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 dejándoles a ellos que alcancen una solución satisfactoria de compromiso. Esta solución compromiso no tiene por objeto ser un reflejo de la “verdad”, sino ser 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), “el programa de la ciencia post-normal consiste en proveer de una base de entendimiento necesaria para desentrañar la complejidad (aparición de novedad, la incertidumbre irreducible, la causalidad interna), de tal forma que podamos anticipar satisfactoriamente cuando 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. Por ello se propone que hemos de garantizar la calidad del proceso de toma de decisiones, más que el resultado final, dado que no existe una verdad objetiva (Funtowicz y Ravetz 1994: 200). Para ello, tomando 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 de conocimiento en lugar del resultado final de la decisión. Esta racionalidad procedimental implicaría una extensión de la comunidad de evaluadores a individuos de otras disciplinas y a aquellos afectados por la decisión. El trabajo consistiría, por tanto, en asumir y tratar de gestionar la incertidumbre que caracteriza cada campo para obtener la información

de la más alta calidad posible (Funtowicz y Ravetz 1994: 200).

En suma, en economía ecológica, como ciencia post-normal, se vería a la política como un mecanismo de dirección social que implica la necesidad de involucrar a todos los actores para alcanzar el consenso.

4. Análisis empírico bajo condiciones de complejidad

Al igual que con el papel de la política, la posición sobre el análisis empírico difiere entre las tres escuelas de pensamiento económico mencionadas antes. La teoría de las expectativas racionales representa de nuevo una posición extrema en la que todo el análisis debe ser atemporal (a-histórico), así como válido para cualquier escala espacial, dado el comportamiento racional y anticipativo de los agentes. Por esto se centran en la deducción de la teoría desde un punto de vista racionalista. Tal y como se dijo antes, esto es lo que hace que desde este enfoque se defienda la no-efectividad de la política.

Tal y como menciona Ramsay (1998: 164), el empirismo se basa en la idea de que el conocimiento del mundo se genera por la experiencia en lugar de por la razón. No obstante, dentro del análisis empírico hay al menos dos ramas principales, el enfoque positivista, y el enfoque fenomenológico (o interpretativista).

El enfoque positivista trata de usar el “método científico” mediante la deducción de teorías como resultado de formular y contrastar hipótesis basadas en análisis estadísticos de datos. Formula hipótesis sobre relaciones causa-efecto y las prueba. Si pasan las pruebas, ésta es la base para una futura ley aplicable generalmente, generada por inducción. Este enfoque asume que el objeto de estudio, es decir, las relaciones funcionales que definen las relaciones entre las variables que describen el sistema, son uniformes y constantes. Bajo estos supuestos, la visión acerca del empirismo es parcial, tal y como muestran algunos autores. Por ejemplo, Heckman (2001: 3) nos dice que la investigación empírica es intrínsecamente una actividad inductiva, construyendo generalizaciones a partir de los datos, y usando los datos para hacer test sobre modelos alternativos, para evaluar las políticas y hacer predicciones sobre los efectos de nuevas políticas o modificaciones de las políticas existentes.

El enfoque fenomenológico, por otra parte, toma un punto de vista distinto sobre el objeto de estudio al que tomaba el positivista. Reconoce que cuando tratamos con los sistemas humanos, éstos tienen la capacidad de cambiar y evolucionar en el tiempo, debido a factores externos (como shocks) o a causas internas, como cambios en las preferencias, tecnologías, o instituciones (la evolución genotípica explicada en la sección 2.2). Esto hace que sea imposible considerarlos como uniformes y constantes. Así pues, antes de explicarlos hemos de ser capaces de entenderlos. Esto implica que en lugar de inducir la teoría a partir de los datos con la ayuda de la econometría, bajo este enfoque alternativo la teoría se genera a partir de los datos recogidos de una forma más cualitativa (Ramsay 1998:167). Esto es, encontrando regularidades que reflejen las propiedades emer-

gentes de los sistemas, y con la ayuda quizás de técnicas no lineales, como los diagramas de fases.

Según mi entendimiento, la economía neo-clásica ambiental es menos extrema que las expectativas racionales, y defiende una posición más favorable al uso de la econometría predictiva y así, al enfoque positivista. Defiende la noción de que el análisis ex-post puede dar ideas sobre las estructuras de los sistemas mediante su extrapolación hacia el futuro, puede generar una predicción ex-ante sobre el desarrollo de las variables, que puede ser utilizada para la generación de políticas. En particular, apoya este análisis ex-post para una predicción ex-ante porque se basa, implícitamente, en la mecánica clásica, en donde esto es posible. Esto es así porque en la física clásica las características principales de los sistemas físicos se pueden describir mediante leyes universales; es decir, no están sujetas al cambio estructural (la gravedad es estable, etc.). Sin embargo, éste no es el caso de los sistemas biológicos, y en particular, de los sistemas humanos, en donde las características subyacentes de los sistemas están en *constante* evolución, haciendo que su predicción sea mucho más problemática (Faber et al 1996, capítulo 8). Así, la economía ambiental neo-clásica, al extrapolar los resultados pasados hacia el futuro, estaría asumiendo dos cosas; una, que los parámetros que definen el sistema y las relaciones entre las distintas variables no cambian con el tiempo; la otra, que las relaciones funcionales entre las variables permanecen estables también durante el período de tiempo en el que son predecidas. Esto, para el caso de las economías modernas, no se da.

De esta forma, podemos considerar a la economía ecológica como representativa del enfoque fenomenológico. Dado que trata con la complejidad, y la complejidad se caracteriza por la irreversibilidad y por su carácter estocástico (Prigogine 1987: 98), concluye que los modelos lineales determinísticos son inefectivos a la hora de analizar la evolución de los sistemas en el tiempo.

5. Trabajo empírico reciente en economía ecológica

Con esta información acerca de cómo definimos las estructuras conceptuales de la economía neo-clásica ambiental y de la economía ecológica, así como con la descripción del papel tanto de las políticas como del empirismo en función de cada disciplina, procedemos a una ejemplificación del tipo de trabajo empírico que en mi opinión debería llevarse a cabo en economía ecológica cuando tratamos con sistemas complejos. Para ello, se ha revisado parte del trabajo empírico publicado en la revista *Ecological Economics* en cinco de los últimos años, es decir, desde el volumen 16 (enero 1996) al volumen 35 (diciembre 2000).

El trabajo publicado en la revista responde a diversos temas: valoración, la búsqueda de índices sintéticos de sustentabilidad, y análisis biofísico en general. Así, podemos encontrar ejemplos de los dos tipos de trabajo empírico que mencionamos con anterioridad, el positivista y el fenomenológico.

La mayor parte del trabajo publicado analiza los sistemas complejos de una

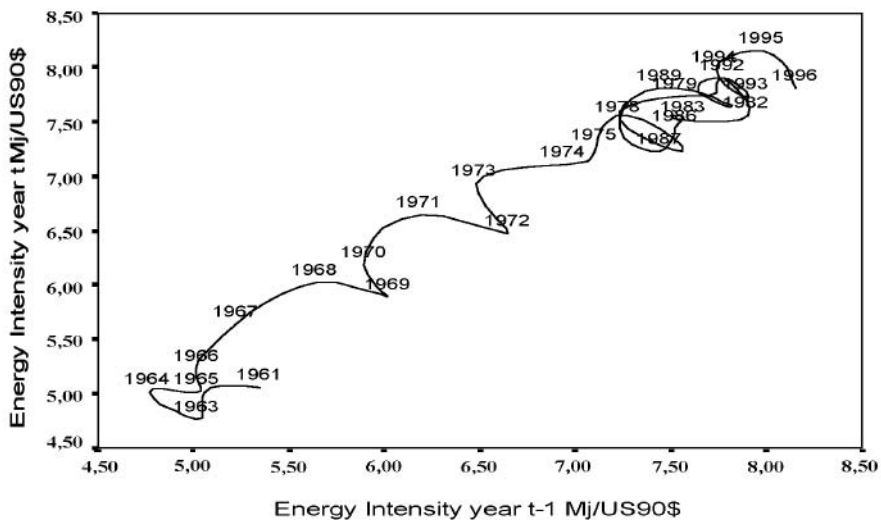
forma sencilla, por ejemplo asumiendo la constancia de la estructura de preferencias de los agentes (obviando así aspectos como la irreversibilidad o la historia de los procesos). Algunos asumen linealidad y constancia tanto en los parámetros como en las relaciones entre las variables que definen a los sistemas; es decir, estabilidad en los genotipos. Con este tipo de análisis, pueden recomendar políticas basadas en los resultados de sus proyecciones, esto es, basadas en la extrapolación de resultados pasados. Por tanto, podemos decir que este tipo de “ciencia” busca “modelizar” el genotipo para predecir el fenotipo. Sin embargo, los datos científicos los tenemos solo sobre el fenotipo (la realización de las potencialidades). Por tanto si el fenotipo cambia, las observaciones sobre el fenotipo son una base pobre para la modelización y la predicción. Esto es lo que creo que sucede con una porción importante del trabajo empírico en economía ecológica, que puede no estar utilizando las técnicas adecuadas para los problemas analizados.

Hay, no obstante, otra forma de entender el análisis empírico en economía ecológica. Casler y Blair (1997) usan el análisis input-output para encontrar la estructura de la contaminación entre los sectores de la economía por medio de las intensidades de contaminación. Esto permite el análisis de las causas históricas de las variaciones en las estructuras de contaminación de la economía, y pueden ser usados para la generación de políticas, tras entender la situación actual de esa economía. Otro ejemplo es el de Perrings y Walker (1997) en el que usan un modelo de resiliencia y análisis empírico para explicar la importancia del fuego en la auto-organización de praderas semi-áridas, siendo el vehículo de una fase de destrucción creativa. Es decir, explican el papel del fuego como desencadenante del cambio del sistema de un meta-equilibrio a otro. Otro ejemplo es el de Jackson y Marks (1999), donde los autores analizan la distribución pasada del gasto de los consumidores en el Reino Unido durante un período de tiempo determinado, identificando algunos patrones de comportamiento con consecuencias diferentes sobre el medio ambiente que pueden ser tenidos en cuenta a la hora de derivar políticas. No obstante uno de los temas en los que este tipo de análisis ha sido más exitoso es el de la curva de Kuznets ambiental, porque relaciona la evolución del ingreso (y por tanto de la economía) con algunas variables físicas como el consumo de energía o el uso de materiales. La mayoría de artículos publicados en diferentes revistas sobre este tema llevan a cabo un análisis ex-post para una predicción del futuro ex-ante, recomendando el crecimiento económico como la solución a los problemas ambientales. Pero, por el contrario, hay algunas excepciones, como Rothman (1998), Suri y Chapman (1998), Unruh y Moomaw (1998) o De Bruyn y Opschoor (1997).

Recientemente, se ha publicado otro grupo de artículos en *Population and Environment*, volumen 22 (2, y 3), que tratan sobre el metabolismo social, y que han sido coordinados por Mario Giampietro. En particular, los artículos usan un nuevo enfoque, llamado Multiple-Scale Integrated Assessment of Societal Metabolism (MSIASM), con relación a la sustentabilidad de la sociedad humana. Una presentación detallada de los aspectos teóricos, así como una validación numérica y aplicaciones en la forma de casos de estudio se ha presentado en otra parte (Giampietro y Mayumi, 2000a,b; Pastore et al., 2000; Ramos-Martin, 2001a; Fal-

coni-Benitez, 2001; Gomiero y Giampietro, 2001). En particular, en Ramos-Martin (2001a), que viene a ser una continuación de investigación iniciada con anterioridad (Ramos-Martin 1999, 2001b) se trata de la evolución histórica de la intensidad energética en España, para participar del debate sobre la curva de Kuznets ambiental con un contraejemplo. Se presentó en primer lugar la visión convencional sobre la intensidad energética desde la economía energética, para luego ofrecer una explicación evolutiva de la evolución de la intensidad energética para subrayar el comportamiento no lineal de la variable, en contraste con la evolución en otras economías. Contrariamente a esas economías, cuando representamos el diagrama de fases de la intensidad energética para España, se mostró que la intensidad saltó entre distintos “atractores” (ver la figura 1), esto es, evolucionó entre fases de estabilidad (cuando se movió alrededor de un atractor o del otro) y una fase de transición (cuando se movió de un atractor al otro), rechazando, por tanto, la existencia de la hipotética curva de Kuznets ambiental para la intensidad energética en España. Finalmente, el análisis histórico y el biofísico, que mezclaba distintos tipos de variables (el PIB, el tiempo de trabajo, y el consumo de energía), proporcionaron explicaciones interesantes acerca de la evolución de la intensidad energética (como el aumento de la responsabilidad para el sector de las familias y del transporte en el aumento general de la intensidad), ejemplificando la necesidad del uso de descripciones paralelas de los mismos hechos para confrontar la complejidad, dado que la generación de “efectos mosaico” entre las distintas piezas de información mejora la robustez del análisis y ofrece la posibilidad de obtener nuevas explicaciones no mostradas por el análisis económico convencional.

Figura 1.



Todos estos artículos toman el punto de vista fenomenológico y tratan con un entendimiento ex-post sobre el funcionamiento de los sistemas, intentando encontrar regularidades estadísticas que reflejen las características subyacentes de esos sistemas, pero sin el objetivo de predecir el futuro usando los parámetros pasados. Por el contrario, el objetivo consiste en explicar cómo el sistema “llegó allí”, cuáles fueron los mecanismos subyacentes al comportamiento de algunas variables clave, como es el caso del consumo de energía. Por esto pienso que son un ejemplo del tipo de empirismo que entiendo debería ser aplicado cuando estamos analizando sistemas económicos abiertos a la entrada de energía, y complejos.

6. El camino por delante

La crítica presentada aquí sobre el uso de la versión positivista del análisis empírico no significa que no podamos llevar a cabo ciertas predicciones sobre el comportamiento futuro de las variables. Podemos hacerlas, siempre y cuando estemos analizando la variable o el sistema cuando están en, o cerca de, un atractor (es decir son meta-estables) o cuando estén siguiendo una tendencia bien establecida que haya sido identificada históricamente. En estos casos, cuando el nivel de incertidumbre decrece, la predicción es posible, aunque bajo ciertas limitaciones (un cambio repentino en la variable siempre es posible). No obstante cuando el sistema se halla en punto de bifurcación (por ejemplo, ante la elección entre varias opciones tecnológicas), la predicción no es posible porque nos podemos encontrar con novedad expresada tanto por un shock externo como por causalidad interna⁵, que puede conducir al sistema hacia uno u otro punto atractor.

Así, si una característica básica de los sistemas complejos es que solo pueden ser aproximados local y temporalmente por sistemas dinámicos (Rosen 1987: 134), pero nosotros aún pretendemos controlarlos mediante el uso de modelos dinámicos predictivos, podemos encontrarnos ante un “*fallo global*” (Rosen 1987: 134, énfasis en el original) en la forma de una discrepancia creciente entre lo que el sistema está haciendo y lo que el modelo predecía. Ésta es una de las razones por las que la ciencia normal está perdiendo credibilidad entre los ciudadanos, y una razón por la que la ciencia post-normal, que no tiene ese interés en encontrar “la verdad” sino en proveer de información de calidad al proceso de toma de decisiones, es vista como una salida de escape ante tales dificultades.

Cuando analizamos datos, para confrontar la complejidad, podemos adoptar la idea de triangulación (Ramsay 1998: 169) o de descripciones paralelas no equivalentes (Giampietro y Mayumi 2000a). Esta idea consiste tanto en usar más de una fuente para los datos, como en analizar los datos mediante distintas teorías o modelos, o usar distintos niveles jerárquicos en la explicación, todo ello para ganar robustez en el análisis y dar más credibilidad a los resultados obtenidos. Esto sin

⁵ Por ejemplo mediante ciclos de retroalimentación entre los distintos niveles jerárquicos del sistema.

duda conllevará la existencia de redundancias, pero aquí son consideradas de forma positiva dado que reforzarán el argumento o las regularidades que podamos encontrar. Se trata, por tanto, de un argumento a favor de un enfoque multi-disciplinar para la sustentabilidad, en el que las distintas interpretaciones de las diferentes disciplinas sean vistas como compatibles a la hora de generar un entendimiento general de la estructura del sistema, así como acerca de su desarrollo.

Si no podemos utilizar el empirismo para la predicción, entonces, ¿qué clase de empirismo podemos usar? En economía ecológica nos interesamos en la evolución, el cambio estructural y la emergencia de novedad; por lo tanto, en primer lugar tenemos que tener en cuenta que dado que en la naturaleza dominan los procesos estocásticos, las teorías científicas deberían ser más realistas, basadas directamente en las observaciones. Entonces, deberíamos usar el análisis empírico no para validar teorías o dar los valores exactos que tendrán los parámetros en el futuro, sino para discriminar entre aquellas teorías que son consistentes con la realidad y aquellas que no lo son. Deberíamos, por tanto, describir y entender, en lugar de buscar la explicación y la predicción, todo ello debido a la naturaleza de los sistemas complejos evolutivos, caracterizados por su irreversibilidad y por su carácter estocástico, por sus numerosas posibles tendencias, su incertidumbre, y la aparición de novedad, características que provocan que sean, en gran medida, impredecibles. Esto es, la modelización *ex-ante* a menudo no es posible. Tenemos que admitir que no hay explicaciones deterministas (universales y *a-históricas*). Por el contrario, podemos describir y entender estos sistemas encontrando regularidades históricas y espaciales, así como buscando la emergencia de las propiedades de esos sistemas. Esto nos lleva a admitir que el conocimiento que podamos obtener acerca de los sistemas complejos es contextual (Clark et al. 1995: 114); depende tanto del intervalo temporal elegido para el análisis como del contexto espacial. Esta es una de las razones por las que, tal y como dijo Boulding (1987: 116), el fallo en nuestras predicciones no es sólo responsabilidad del conocimiento humano. Refleja, sin embargo, una propiedad inherente de los sistemas complejos, su impredecibilidad. Por tanto, nuestro fallo puede venir provocado tanto porque no conocemos los parámetros del sistema (ignorancia) como porque esos parámetros cambian muy rápidamente (aparición de novedad, evolución), reflejando el cambio estructural o genotípico causado por shocks externos o por una causalidad interna al propio sistema (por ejemplo comportamiento caótico).

El papel de la ciencia aplicada a los procesos de toma de decisiones quedaría, por lo tanto, limitado a una evaluación de las consecuencias de las distintas políticas, y a la provisión de una narrativa o interpretación fenomenológica acerca de cómo puede revelarse el futuro (Kay et al. 1999: 728); “estas narrativas se centran en un entendimiento cualitativo / cuantitativo que describe:

- El contexto humano para la narrativa;
- La naturaleza jerárquica del sistema;
- Los puntos atractores que pueden ser accesibles al sistema;
- Cómo se comporta el sistema en las cercanías de cada atractor,

- potencialmente en términos de un modelo de simulación cuantitativa;
- Las retroalimentaciones positivas y negativas, así como los ciclos auto-catalíticos y los gradientes asociados que organizan al sistema en un atractor.;
 - Qué puede habilitar o deshabilitar esos ciclos y por tanto puede promover o no que el sistema se encuentre en las cercanías de un atractor; y
 - Qué es lo que puede precipitar los cambios entre atractores” (Kay et al. 1999: 728).

Esta economía ecológica ex-post, que analiza los fundamentos biofísicos de los procesos económicos, está muy cerca de la “economía estructural” tal y como Leontief (1941) la propuso, representando los distintos sectores de la economía en términos de sus inputs y outputs. De hecho, este tipo de análisis es necesario para analizar, en un período de tiempo determinado, la estructura meta-estable del sistema, así como las múltiples relaciones entre las variables y parámetros que definen al sistema.

Así, el hecho de que el futuro se nos presente como abierto tiene una serie de repercusiones desde un punto de vista de generación de políticas. Esta situación respecto al futuro nos pide algo que ha sido llamado “gestión suave” por parte de Haken y Knyazeva (2000: 65). Esta gestión o manejo debe entenderse como una que fomente la flexibilidad como respuesta al cambio de las condiciones que definen al sistema. Esta flexibilidad puede lograrse mediante una mejora de la diversidad del sistema. Cuanta más diversidad encontremos, más respuestas podremos tener ante unas condiciones cambiantes, con más posibilidades de que una o más de esas respuestas sean exitosas y lleven al sistema hacia adelante en su desarrollo. Es decir, la diversidad aumenta la capacidad de adaptación del sistema. Un ejemplo reciente que nos sirve aquí es el caso de la llamada “pila de combustible”, desarrollada antes que el motor de combustión interna, pero que solo en la actualidad está siendo desarrollada de tal forma que el hidrógeno pueda llegar a ser un sustituto a los combustibles fósiles. Esto ha sido posible porque hemos mantenido esa “diversidad tecnológica” en nuestro acervo, a pesar de que durante mucho tiempo esa tecnología no haya sido utilizada.

En conclusión, la predicción para el caso de los sistemas complejos no es posible no sólo porque los parámetros que definen las relaciones entre las variables pueden cambiar (evolución fenotípica), sino también porque las relaciones funcionales pueden cambiar también (evolución genotípica) generando, por tanto, más novedad. Consecuentemente, una econometría ecológica predictiva no es posible. Por el contrario, el enfoque fenomenológico presentado aquí, y ejemplificado con los artículos mencionados en la sección 5 que usan un análisis ex-post, parecen mejor dotados, en el marco de la economía ecológica, para tratar con la evolución de sistemas complejos tales como economías, que involucran la presencia de novedad constante en la forma de cambio estructural. Este análisis puede incluir también, como se dijo con anterioridad, el uso del análisis econo-

métrico para tener en cuenta evoluciones y tendencias pasadas. Al final, hemos de tener en cuenta que “la historia cuenta”.

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a John Proops, Jeroen van den Bergh, y Roger Strand por sus útiles comentarios sobre una versión anterior. Naturalmente, ninguno de los anteriores es responsable de las ideas expresadas aquí ni de cualquier error restante. Asimismo agradezco al proyecto de la UE, *Development and application of a multi-criteria software decision analysis tool for renewable energy sources (MCDA-RES)*, contrato NNE5-1999-NNE5/273/2001, por el apoyo parcial a esta investigación.

Referencias

- Beard, T.R. y Lozada, G.A. (1999): *Economics, Entropy and the Environment. The Extraordinary Economics of Nicholas Georgescu-Roegen*. Edward Elgar. Cheltenham, UK.
- Boulding, K.E. (1987): “The epistemology of complex systems”, *European Journal of Operational Research*, 30: 110-116.
- Casler, S.D., Blair, P.D. (1997): “Economic structure, fuel combustion, and pollution emissions”, *Ecological Economics* 22: 19-27.
- Clark, N.; Pérez-Trejo, F.; Allen, P. (1995): *Evolutionary Dynamics and Sustainable Development: A Systems Approach*. Edward Elgar. Aldershot, UK.
- Daly, H.E. (1992): *Steady-State Economics*. Earthscan Publications. London.
- De Bruyn, S.M., Opschoor, J.B. (1997): “Developments in the throughput-income relationship: theoretical and empirical observations”, *Ecological Economics* 20: 255-268.
- Faber, M. y Proops, J.L.R. (1998): *Evolution, Time, Production and the Environment*. Springer, Berlin.
- Faber, M.; Manstetten, R.; Proops, J.L.R. (1996): *Ecological Economics: Concepts and Methods*. Edward Elgar. Cheltenham.
- Falconi-Benitez, F. (2001): “Integrated assessment of the recent economic history of Ecuador”, *Population and Environment* 22 (3): 257-280.
- Funtowicz, S.O.; Ravetz, J.R. (1991): “A new scientific methodology for global environmental issues”, in Costanza, R. (Ed.): *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*. Columbia University Press, New York.
- Funtowicz, S.O.; 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*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Giampietro, M. y Mayumi, K. (2000 a): “Multiple-scale integrated assessment of societal metabolism: Introducing the approach”, *Population and Environment* 22 (2): 109-153.

- Giampietro, M. y Mayumi, K. (2000b): "Multiple-scale integrated assessment of societal metabolism: Integrating biophysical and economic representations across scales", *Population and Environment* 22 (2): 155-210.
- Gleick, J. (1987): *Chaos: Making a New Science*. Penguin, Harmondsworth.
- Gomiero, T. y Giampietro, M. (2001): "Multiple-scale integrated analysis of farming systems: The Thuong Lo Commune (Vietnamese Uplands) case study", *Population and Environment* 22 (3): 315-352.
- Gould, S.J. (1992): "Life in punctuation", *Natural History*, 101: 10-21.
- Haken, H., Knyazeva, H. (2000): "Arbitrariness in nature: synergetics and evolutionary laws of prohibition", *Journal for General Philosophy of Science* 31: 57-73.
- Hall, C.A.S., Cleveland, C.J., Kaufmann, R.K. (1986): *The Ecology of the Economic Process: Energy and Resource Quality*. John Wiley & Sons, New York.
- Heckman, J.J. (2001): "Econometrics and empirical economics", *Journal of Econometrics* 100: 3-5.
- Jackson, T., Marks, N. (1999): "Consumption, sustainable welfare and human needs - with reference to UK expenditure patterns between 1954 and 1994", *Ecological Economics* 28(3): 421-441.
- Kay, J.J., Regier, A.H., Boyle, M., Francis, G. (1999): "An ecosystem approach for sustainability: addressing the challenge for complexity", *Futures* 31: 721-742.
- Kay, J.J., y Regier, H. (2000): "Uncertainty, complexity, and ecological integrity: insights from an ecosystem approach", in P. Crabbé, A. Holland, L. Ryszkowski y L. Westra (eds): *Implementing Ecological Integrity: Restoring Regional and Global Environmental and Human Health*, Kluwer, NATO Science Series, Environmental Security. Dordrecht.
- Leontief, W.W. (1941): *The Structure of American Economy 1919-1929*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- O'Riordan, T. (1996): "Democracy and the sustainable transition", in Lafferty, W.M. & J. Meadowcroft (Eds.): *Democracy and the Environment. Problems and Prospects*. Edward Elgar: Cheltenham.
- Pastore, G., Giampietro, M. y Mayumi, K. (2000): "Societal metabolism and multiple-scale integrated assessment: Empirical validation and examples of application", *Population and Environment* 22 (2), 211-254.
- Prigogine, I. (1987): "Exploring complexity", *European Journal of Operational Research*, 30: 97-103.
- Ramos-Martin, J. (1999): "Breve comentario sobre la desmaterialización en el estado español", *Ecología Política*, 18: 61-64.
- Ramos-Martin, J. (2001 a): Historical analysis of energy intensity of Spain: From a "conventional view" to an "integrated assessment", *Population and Environment* 22 (3): 281-313.
- Ramos-Martin, J. (2001b): "Non-linearity in energy metabolism of Spain: 'Attractor Points' for the Development of Energy Intensity", in S. Ulgiati et al. (ed.s), *Advances in Energy Studies. Exploring Supplies, Constraints, and Strategies*, Padova (Italy), Modesti Publisher.
- Ramsay, J. (1998): "Problems with empiricism and the philosophy of science: implications for purchasing research", *European journal of Purchasing & Supply Management* 4: 163-173.
- Rosen, R. (1987): "On complex systems", *European Journal of Operational Research*, 30: 129-134.

- Rothman, D.S. (1998): "Environmental Kuznets curve - real progress or passing the buck? A case for consumption-based approaches", *Ecological Economics* 25: 177-194.
- Ruth, M. (1993): *Integrating Economics, Ecology and Thermodynamics*. Kluwer, Dordrecht.
- Simon, H.A. (1983): *Reason in Human Affairs*. Stanford University Press, Stanford.
- Suri, V., Chapman, D. (1998): "Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets curve", *Ecological Economics* 25: 195-208.
- Unruh, G.C., Moomaw, W.R. (1998): "An alternative analysis of apparent EKC-type transitions", *Ecological Economics* 25: 221-229.