

La gestión económica de los recursos naturales y sus críticos

I. Introducción: ¿de qué trata la economía de los recursos naturales?.
II. La economía de los recursos naturales como parte del análisis económico.
III. La gestión de los recursos no renovables. IV. Los recursos renovables: la ecología de poblaciones. V. Recursos renovables 2: ecología de ecosistemas.
VI. La crítica a la economía ambiental. VII. ¿Sirve de algo la evidencia empírica? Referencias.

I. Introducción: ¿de qué trata la economía de los recursos naturales?

Todas nuestras actividades dependen en última instancia de la naturaleza. Cualquier bien manufacturado es el resultado de la aplicación del trabajo humano sobre un conjunto de bienes de capital, fabricados por el hombre, y de materiales y energía provenientes directamente de la naturaleza. Los bienes de capital se fabrican, a su vez, con otros bienes, con trabajo y con

recursos naturales, y el origen de la energía desplegada por el trabajo está también en el consumo de recursos cuyo origen último es la naturaleza. Por ese motivo, la actividad económica es sinónimo de apropiación y transformación de la naturaleza en beneficio de la satisfacción de necesidades individuales y sociales, y, también por ello, el crecimiento económico se traduce, necesariamente, en la disminución de los sistemas naturales autogestionados. Cualquier actividad económica es entonces, por su propia definición, una for-

ma de gestión de la naturaleza (Dasgupta, 1996)¹.

Como disciplina de conocimiento, la economía de los recursos naturales se propone responder un conjunto de cuestiones relativas al modo en que la sociedad utiliza los recursos naturales para satisfacer las múltiples demandas (o exigencias) del sistema económico. Estas cuestiones se pueden, a su vez, clasificar en dos categorías estrechamente relacionadas: en primer lugar, se encuentran las que pertenecen al mundo del llamado análisis positivo cuyo objeto fundamental es el estudio, la comprensión y la descripción de las complejas interacciones entre la sociedad y el medio ambiente. Sin embargo, la respuesta a tales preguntas no constituye el objetivo fundamental de la economía de los recursos. Las preguntas realmente relevantes para la sociedad pertenecen a la segunda categoría y su carácter es claramente normativo y se refieren a cuáles son los criterios generales,

más o menos operativos, que deben guiar la gestión de los recursos naturales.

Los problemas normativos son omnipresentes en la sociedad actual y a ellos pertenecen muchas cuestiones que pueden organizarse desde las más particulares hasta las más ambiciosas y generales. Al nivel más básico, se trata, por ejemplo, de identificar y proponer las normas que deben guiar la gestión de recursos individuales; lo que se traduce en cuestiones tales como: cuál ha de ser el turno óptimo de una explotación forestal, o la tasa deseable de bombeo de agua de un acuífero. En segundo lugar, en un nivel más ambicioso del análisis, se trata de responder preguntas tales como: de qué modo debe procederse a la elección entre usos alternativos de un activo ambiental considerando, por ejemplo, la validez o no de renunciar a la explotación económica en beneficio de la conservación de un parque natural, la forma en que deben combinarse los

1 El propio Dasgupta (1996, pag.3) advierte que esta constatación, según la cual todo bien incluso todo aquello que existe en el planeta tiene origen en la naturaleza, no autoriza la construcción de una teoría natural del valor. Más tarde volveremos sobre este punto (para una discusión al respecto véase Koopmans, 1957).

usos competitivos, aunque no excluyentes, de un espacio natural (como espacio recreativo, lugar de pastoreo o de extracción selectiva de madera, etc.), o el tipo de análisis económico que debe hacerse para considerar la validez de ejercer opciones irreversibles como las que ocurren, por ejemplo, cuando se decide construir un pantano. En tercer lugar, generalizando las cuestiones anteriores, es posible llegar a la discusión sobre los cambios globales que puede permitirse la civilización sobre las condiciones naturales que constituyen su base de recursos, o a la búsqueda de una definición operativa del concepto de desarrollo sostenible.

Todas las cuestiones planteadas se deben resolver partiendo del conocimiento positivo más detallado posible de la realidad sobre la que se pretende formular un criterio de gestión. Sin embargo, no debe perderse de vista que, en el caso que nos ocupa, los aspectos normativos son de la mayor importancia. Es evidente que, siempre que descartemos la comodidad de las posturas extremas, no nos será posible identificar un problema ambiental sin la

referencia a una situación ideal que consideramos óptima o simplemente deseable (así, por ejemplo, sólo podemos decir que existe sobre-explotación en una plantación forestal si contamos con una definición previa, implícita o explícita, económica o sólo agronómica, de lo que constituye una buena pauta de explotación). También, por la misma razón, es deseable que los criterios generales de gestión sean operacionales de modo que permitan calibrar la gravedad de los distintos problemas ambientales: ¿cómo podemos juzgar la gravedad de un problema de sobre-explotación de recursos sin calibrar la distancia entre la solución actual y alguna pauta ideal?; o ¿cómo podríamos juzgar la ineficiencia de una institución individual (o de una estructura de derechos de propiedad), sin tener alguna noción sobre el mejor resultado que podría y debería obtener la sociedad en la asignación económica de los recursos naturales?. Por todo lo anterior, el objetivo fundamental de la economía de los recursos naturales, y la condición necesaria para abordar otros objetivos, consiste en elaborar un conjunto de criterios generales que nos permitan identifi-

car y juzgar la severidad de los problemas ambientales, lo que, a su vez, se convierte en un punto de partida para juzgar, ya sea en un plano microeconómico o macroeconómico, el desempeño de las instituciones sociales y para definir los objetivos de la política ambiental y de recursos naturales.

Si admitimos que la economía de los recursos naturales descansa sobre un conjunto de criterios normativos, será necesario reconocer a continuación que tales criterios estarán fuertemente condicionados por nuestra percepción de los problemas ambientales y, más aun, que tal percepción estará condicionada por algunos juicios de valor cuyo contenido, como es obvio, pertenece al mundo de la ética y no al del conocimiento positivo. Dentro de los múltiples juicios de valor, que están en la base de la economía del bienestar², en el caso de la economía de los recur-

sos naturales existe uno fundamental a partir del cual se articula cualquier respuesta a las preguntas planteadas arriba (véase, por ejemplo, Londero, 1987). Este es un *juicio de calificación* que resuelva la pregunta ¿quién y sobre qué base califica los problemas ambientales y juzga la deseabilidad de las soluciones alternativas?³. La validez de la respuesta a la pregunta anterior, cualquiera que sea, o la elección entre las distintas respuestas posibles, no podrá establecerse nunca acudiendo a argumentos de hecho. En lo que sigue de este ensayo, trataré de exponer lo que ha sido la línea de investigación del análisis económico (o de la llamada economía ambiental) y, en los dos últimos apartados, plantearé algunos elementos de discusión con la crítica de este enfoque (o con la llamada economía ecológica), a partir de las diferencias con respecto al que hemos llamado juicio de calificación y a algunas consecuencias prácticas.

2 Véase por ejemplo Sen, A. (1972) Sobre ética y economía.

3 Aparte de un juicio de valor, la economía del bienestar requiere un juicio de valoración (cómo se valoran los cambios en la calidad ambiental) y de un juicio de comparación (cómo se compararan entre sí los efectos de un cambio en la calidad ambiental sobre las distintas personas o entre las distintas generaciones).

II. La economía de los recursos naturales como parte del análisis económico

La economía de los recursos naturales parte de una respuesta clara y radical sobre el juicio de calificación: las preferencias de las personas cuentan y, como cada quien debe ser considerado el mejor juez de las decisiones que le afecten y el mejor agente de sus intereses, la racionalidad de cualquier decisión sobre la gestión de los recursos naturales debe analizarse a la luz de los efectos que producen, directa o indirectamente, inmediatamente o en un futuro remoto, sobre las distintas personas. Los recursos naturales, desde este punto de vista, tienen valor en cuanto afectan al bienestar de las personas. Así, algunos recursos naturales pueden tener un valor de uso (por ejemplo, puede tratarse de una especie fundamental para la existencia de una cadena trófica), o simplemente estético (p. ej. el paisaje). El valor de uso de un recurso puede ser directo, en cuanto provee bienes de consumo (algunos de ellos fundamentales como el aire y el agua), cuya cantidad o calidad se ve afectada

por decisiones económicas; o indirecto (como es el caso de los materiales y energía utilizables en la producción de mercancías y de contaminación; pero también el del plancton que forma parte de una cadena alimenticia de la que nos beneficiamos los humanos). También se puede hablar con propiedad de valores de opción, cuando la conservación de un recurso preserva alternativas para las generaciones futuras (aun en el caso de que tales opciones sean inciertas como es el caso de la preservación de la diversidad biológica como posible fuente de conocimiento). Los recursos también pueden tener valor como sistemas fundamentales para el soporte de la vida humana y de la naturaleza a la que dan valor los humanos (garantizando el mantenimiento de la composición de la atmósfera, del ciclo del carbono, etc.). Finalmente, un recurso natural puede tener valor para nosotros con independencia de todos los casos mencionados y por el sólo hecho de existir (es decir puede tener valor intrínseco) (véase, por ejemplo, Ng, 1996).

De esta definición surge, lógicamente, un conjunto de deman-

das por parte del sistema económico: demanda de materiales y energía para usos en el sistema productivo, cuyo valor es indirecto y está relacionado con la producción de bienes de consumo; demanda de absorción y reciclado de residuos de diferente tipo (que los ecosistemas satisfacen a través procesos de descomposición química o biológica de sustancias contaminantes, que, a su vez, modifican la calidad de los medios receptores deteriorando el valor de los servicios que estos medios prestan a la economía); demandas de preservación de opciones futuras, de valores de existencia y de fuentes de conocimiento, etc. Desde este punto de vista económico el medio ambiente en general, y cada recurso natural como una unidad de análisis, se convierten en unos activos⁴ cuya gestión es el objeto de reflexión por parte de la economía de los recursos. Los objetivos de dicha gestión deben centrarse en la valorización económica de tales activos (o del gran activo único que constituye nuestra base de recursos), y en evitar la

depreciación de los mismos que no esté justificada por criterios de bienestar colectivo. La gestión de recursos debe servir entonces para ordenar las alternativas existentes y seleccionar entre ellas con un criterio de bienestar, en el que se reconozcan los efectos positivos de la extracción de materiales y los negativos del vertido de contaminantes, se pongan en la balanza los usos presentes y futuros, los beneficios de ejercer las opciones actuales y los beneficios de la preservación, etc. En definitiva, el criterio de gestión es un criterio de bienestar.

Sobre estas premisas, los modelos básicos de gestión de recursos naturales se especifican como problemas generales de optimización de una función de bienestar intertemporal sujetos a un conjunto de restricciones que pueden pertenecer al ámbito de la economía, como por ejemplo la tecnología disponible para la extracción y la utilización o sustitución de un recurso concreto, o al ámbito natural, como el tamaño

4 Por supuesto activos especiales ya que de ellos depende como hemos visto no sólo la provisión de bienes útiles si no la existencia de la vida misma.

de las reservas, su concentración y calidad, o los ritmos de crecimiento biológico, etc. El objetivo del análisis consiste en identificar una pauta óptima de explotación, que bien puede tratarse de un ritmo de extracción, un turno forestal óptimo o un patrón de capturas. A su vez, una pauta óptima de explotación se caracteriza por la armonización de un conjunto de flujos de recursos, hacia el sistema económico, con una decisión simultánea de conservación del stock de recursos en un determinado tamaño y con unas características determinadas. Por su parte, en la solución de tales problemas de optimización se obtienen también, como variables duales en la solución óptima, los precios sombra de las reservas que se conservan en cada momento del tiempo; precios que, a su vez, se consideran medidas ideales de la escasez de los recursos naturales.

III. La gestión de los recursos no renovables

Uno de los resultados más conocidos de la teoría de los recursos es la llamada «regla de Hotelling», que permite caracte-

rizar la pauta óptima de explotación de un recurso natural no renovable y, en principio, no reciclable. Las condiciones que permiten definir dicha pauta están dadas, en primer lugar, por la demanda de mercado del producto, al que sólo se le atribuye un valor de uso indirecto como insumo productivo, y que por lo tanto depende de las preferencias de los consumidores por los bienes finales, pero también de la tecnología de utilización del recurso natural para la fabricación de tales bienes finales. En segundo lugar, la solución está limitada por el tamaño de las reservas, que en los modelos más simples se consideran de calidad homogénea, por la tecnología de extracción del recurso natural. Finalmente, la pauta de explotación está determinada también por las posibilidades de sustituir el recurso natural en sus usos actuales, lo que se especifica a través del concepto de una tecnología de reemplazo, que se convierte en rentable una vez que el precio del recurso supere un umbral crítico máximo.

En este problema, uno de los más simples que pueden definirse

en el campo de la economía de los recursos, la senda óptima de explotación del recurso se caracteriza por un crecimiento de la renta de escasez, a medida que el recurso se agota, igual a la tasa de descuento. Esta senda óptima sólo describe la característica del recorrido pero no sus puntos extremos. Por ese motivo, la solución de Hotelling se completa indicando que en el momento en que se alcance el precio de la tecnología de reemplazo, las reservas de mineral, que tengan algún valor económico dada la tecnología disponible, deben haberse agotado. Si conocemos el camino y el punto de llegada, será posible deducir (por inducción retrospectiva) el punto inicial; es decir, el precio actual y la tasa de extracción corriente del mineral.

El modelo de Hotelling se propone sin duda un objetivo ambicioso: caracterizar la pauta de explotación de un recurso no renovable desde el momento actual hasta su agotamiento, identificando el horizonte temporal en que esta última circunstancia se produce y todos los precios actuales y futuros del mismo. Sin embargo, es importante te-

ner claro que el valor de una teoría de este tipo es mucho mayor como instrumento de análisis que como herramienta de predicción económica. Los resultados analíticos que se obtienen son válidos con respecto a la estabilidad de los supuestos del análisis utilizados; es decir, dada el estado de la tecnología (de extracción, de uso y de reemplazo), de las reservas probadas o probables que se consideran y las preferencias de los agentes económicos, la regla de Hotelling permite obtener una solución preliminar que, por lo mismo, variará en un sentido u otro con cada cambio en el entorno considerado. Como instrumento analítico, el modelo permite calibrar las consecuencias de cualquier cambio en las variables del entorno, lo que puede resultar, por ejemplo, del descubrimiento de nuevas reservas, de los cambios en la demanda, de la mejora en cualquiera de los tipos de tecnología mencionados, etc.

El modelo básico es sólo una herramienta teórica que puede extenderse en múltiples direcciones que, a su vez, permiten

abarcar situaciones más generales (por ejemplo, afirmando que si no existe tecnología de reemplazo y se trata de un recurso esencial, las reservas sólo tenderán asintóticamente hacia el agotamiento). También es posible relajar alguno de los supuestos del análisis (por ejemplo, si se consideran reservas de calidad variable, la regla de Hotelling redescubre y especifica el principio de los rendimientos decrecientes, según el cual se explotan en primer lugar las reservas de mejor calidad; P.ej. Solow y Wan (1976)). El modelo básico de Hotelling, es determinístico, en el sentido de que supone una estructura perfecta de información. Sin embargo, otro ejemplo de las extensiones posibles es la introducción de incertidumbres y la derivación de los efectos que esta ocasiona sobre la demanda del recurso (Weinstein y Zeckhauser, 1975), sobre el coste de la tecnología de reemplazo (Lewis, 1977) o sobre el tamaño de las reservas (Loury, 1978); lo que permite, por ejemplo, demostrar que tal incertidumbre acelerará la tasa de extracción del recurso y que tal efecto dependerá de aver-

sión al riesgo de los agentes o instituciones que tomen las decisiones.

El modelo de análisis también permite, calibrar la gravedad de los problemas de explotación de los recursos en la medida en que ofrece una pauta ideal que puede contrastarse con el resultado que obtendrán distintas estructuras de mercado: el monopolio, por ejemplo, extraerá menos rápido las reservas y, al disminuir el grado de concentración de las empresas, la pauta de extracción se aproximará a la solución óptima (Stiglitz, J.E. y Dasgupta, P, 1982). Un elemento importante es que los modelos de este tipo ofrecen una lógica racional para explicar la producción de tecnología como un proceso endógeno a través de la evolución de los costes: el descubrimiento de nuevos depósitos a través de una exploración activa tiene valor, no solamente por el nuevo stock eventualmente descubierto, sino también por la reducción de costes, con lo que el modelo ofrece una explicación de los incentivos existentes para la reducción de la incertidumbre sobre las reservas. En definitiva, el modelo de análisis es una pode-

rosa herramienta normativa para las empresas y las agencias públicas⁵.

El modelo de Hotelling es un buen ejemplo de un programa de investigación que, a partir de la definición de un modelo estilizado, busca una solución a los problemas de la gestión de recursos a través de la mejor especificación de las variables consideradas (p.ej. variables estocásticas en lugar de determinísticas); de la introducción de nuevas variables (p.ej. el reciclado de material secundario); de nuevos marcos institucionales (p.ej. competencia monopolística); de nuevos motivos para el comportamiento económico (p.ej. los incentivos para el progreso técnico), etc. Este método de razonamiento es el predominante en el análisis económico y, como veremos a continuación, también está

presente en los modelos de gestión de recursos renovables.

IV. Los recursos renovables: la ecología de poblaciones

En el caso de los recursos renovables, como propone Dasgupta (1996), existen dos posibilidades para definir la unidad básica del análisis; esta unidad puede estar en la ecología de una población (o *population ecology*) o en la ecología de un ecosistema (*ecosystem ecology*). En una primera alternativa el centro de atención se puede situar en la dinámica de interacciones de diferentes especies en un espacio circunscrito, en el que se toman como dados los elementos del entorno ambiental. Algunos ejemplos pueden ser: el uso de la función logística para describir la evolución de una

5 Si suponemos un entorno estable, el modelo permite establecer algunas previsiones (que pueden a su vez corregirse cuando se cuente con información adicional). Por ejemplo, haciendo uso de la regla de Hotelling, es posible derivar la pauta probable de extracción del cobre durante los próximos 100 años (véase Gordon, Koopmans, Nordhaus y Skinner, 1987) y afirmar que, de mantenerse la demanda actual, en el año 2100, los minerales que se extraigan sólo tendrán una concentración de 0.05 % de cobre comparada con el 0.5% actual; el precio del cobre se multiplicará por 60 antes de alcanzar la tecnología de reemplazo (la obtención del mineral de la roca ordinaria) y permanecerá constante a partir de ese momento; durante la transición aumentará gradualmente la tasa de reciclado (que se hará gradualmente rentable a medida que crece la renta de escasez) y que el coste actual de la escasez de cobre es equivalente al 0,5 del ingreso nacional de los Estados Unidos (aunque el coste total de obtener el mismo nivel de consumo sin contar con el cobre asciende al 22%).

biomasa de una especie singular de peces con un flujo constante de alimentos; los modelos predador-presa tipo Volterra o los modelos May-McArthur de competencia entre un número arbitrario de especies. En todos estos casos, el flujo de valores económicos que pueden derivarse de un recurso, dependerá del ritmo de explotación ya que tal ritmo condiciona los procesos de crecimiento biológico; en algunos casos el flujo de valores económicos también es una función del tamaño del stock en cada momento del tiempo, ya que, por ejemplo, en cuanto más elevado sea el stock menores serán los costes de extracción (p.ej. Dasgupta y Heal, 1979; Clark, 1976).

Un ejemplo del modo en que progresa el programa de investigación de la economía de los recursos renovables se encuentra en los modelos de explotación forestal. El modelo básico, parte del análisis de una explotación cuyo valor económico es exclusivamente comercial (el de la madera cortada), y tiene su origen en los trabajos de Martin Faustmann (1849), quien propuso un modelo de rotación forestal completamente a

tono con el análisis marginalista (cuyo origen sólo se produjo cerca de 30 años después). En el turno forestal óptimo, el valor del crecimiento biológico del árbol (el precio de la madera multiplicado por la productividad física de la especie), debe ser igual al valor del rendimiento que puede obtenerse del dinero que se consigue de (a) talar el árbol y vender la madera y (b) vender el derecho a la explotación de la parcela y depositar el dinero con un rendimiento financiero similar a la tasa de descuento (véase, p. ej. Hanley, 1996). Esta regla simple de gestión tiene su traducción práctica en todo un programa operacionalizable de rotación forestal, que se consigue dividiendo la explotación en un número de parcelas idéntico a la edad óptima de tal, con el fin de mantener un ritmo constante de actividad, en el que en cada período se tala y se replanta una parcela distinta.

Al igual que el modelo básico de Hotelling, el modelo de Faustmann da lugar a múltiples extensiones. A modo de ejemplo, es posible mencionar el análisis de las consecuencias del monopolio sobre la propiedad de las ex-

plotaciones forestales (Crabbe y Long, 1989); el tratamiento de la incertidumbre con respecto a los precios futuros y al crecimiento biológico, que suelen abordarse con los métodos de parada óptima (Reed y Clarke (1990); o con respecto a la posibilidad de pérdidas catastróficas debidas a incendios o inundaciones (Conrad y Clark, 1987). En todos esos ejemplos, el único valor considerado es el valor comercial de la madera⁶.

Sin embargo, vale la pena detenernos en otras ampliaciones más interesantes desde el punto de vista ambiental y que pretendan superar el problema de que los árboles no nos dejen ver el bosque. El bosque, como es bien sabido, tiene un valor superior al de la madera que contiene; provee espacios recreativos que las personas valoran, constituye un habitat para distintas especies de flora y de fauna, permite el con-

trol de las inundaciones, captura el carbono de la atmósfera, previene la erosión y protege contra inundaciones etc. Todos estos valores ambientales pueden ser capturados reformulando el modelo de Faustmann (véase Hartman, 1976). En su trabajo, Hartman reformula los beneficios y costes de oportunidad de alargar el período de rotación en cada momento del tiempo, introduciendo los beneficios ambientales como un flujo constante que desaparece con la tala y que sólo se reconstruye lenta y parcialmente después de cada replantación (y que en algunos casos, debido a irreversibilidades, ni siquiera se reconstruye). En particular, si los beneficios ambientales son crecientes con la edad del bosque, es probable que la solución óptima sea no talar nunca, con lo que el modelo de explotación forestal se convierte en un caso particular de un modelo general de espacios protegidos.

6 Pueden darse situaciones en las que un estudio limitado a los valores de uso arroje resultados interesantes desde el punto de vista ambiental. Este es el caso del trabajo de Spence (1974) sobre la tasa óptima de captura de las ballenas azules en el que solamente se tiene en cuenta el valor de mercado de los distintos productos que se obtienen de la ballena. Dasgupta (1996), quien presenta el ejemplo, encuentra como muchos de nosotros esa idea «absurda y repugnante». No obstante, Spence muestra que la mejor estrategia comercial para la industria ballenera consistía en aceptar una larga moratoria hasta que se alcanzara espontáneamente el nivel deseado del stock y, a partir de ese punto, igualar las capturas al rendimiento óptimo sostenible.

Existe otro tipo de ampliaciones que permiten incorporar nuevos elementos a favor de la conservación de los espacios forestales de uso múltiple. Uno de estos casos se encuentra en la ampliación del modelo de Hartman a la utilización de los bosques para el pastoreo (Swallow, et. al. 1990). De este uso resulta un valor (que puede medirse en unidades mes de animales en el rebaño) que sólo es positivo cuando la edad media de los árboles supera un nivel mínimo⁷ y que, en una primera fase, crece para luego decrecer hasta cero a medida que se cierra la canopia del bosque. Finalmente, pueden mencionarse también los modelos de análisis que pretenden estudiar la lógica que impulsa a la deforestación de la selva tropical (por ej. Ehui et al, 1990). En este último caso, las personas perciben sólo una parte de los motivos por los que el bosque tiene valor: por ejemplo, como fuente de tierra de cultivo o considerando la tala de nuevas tierras como sustituto de insumos de producción necesarios para explotar sostenidamente las tierras actua-

les de cultivo. Este tipo de situaciones hacen que la selva tropical se perciba como un recurso no renovable y su explotación se diseña e implementa como una estrategia de minería (en el análisis de este caso también es útil la regla de Hotelling) en beneficio de la producción de tierra de cultivo.

V. Recursos renovables 2: ecología de ecosistemas

Si el centro de atención en el análisis anterior es un recurso concreto, en esta segunda orientación, la unidad de análisis es el ecosistema. Entre sus muchas funciones económicas, los ecosistemas son la fuente de los recursos renovables, sostienen los procesos de regeneración del suelo, reciclan nutrientes, filtran contaminantes, asimilan basuras, polinizan los cultivos, operan el ciclo hidrológico y mantienen la composición de la atmósfera. En consecuencia, en esta segunda orientación, se trata de estudiar cómo se generan los servicios que prestan los ecosistemas al siste-

7 12,5 años en el estudio mencionado sobre los bosques de Montana.

ma económico a través de las interacciones entre organismos, entre poblaciones de organismos y entre comunidades de organismos en el propio ambiente físico y químico en el que estos residen. Por ese motivo, «la atención se localiza en objetos tales como la energía y el flujo de la misma en diferentes capas tróficas, y en la distribución y flujos de sustancias bioquímicas en los suelos y el agua, así como de los gases y las partículas en la atmósfera» (Dasgupta, 1996; p.4)

En esta lógica, los problemas ambientales se deben al deterioro y al riesgo de agotamiento de un complejo sistema de recursos renovables, debido al uso excesivo de los mismos. Por la misma razón, para la gestión económica de los recursos es fundamental derivar criterios de gestión que valoricen los servicios que prestan los ecosistemas y que permitan examinar los resultados que obtienen al respecto los distintos tipos de instituciones sociales.

La diferencia con la ecología de poblaciones, a la que dedicamos el apartado anterior, no se encuentra como suele entenderse

en un criterio distinto de calificación, o en una concepción diferente sobre las relaciones entre la sociedad y la naturaleza. Como insiste Dasgupta, aparte de la definición de una unidad de análisis diferente, la ecología de poblaciones y la ecología de ecosistemas sólo se deben distinguir metodológicamente por el tipo de variables y el tipo de interacciones consideradas (mucho más amplias en el segundo caso ya que se consideran sistemas complejos). Por analogía podríamos decir que la ecología de poblaciones utiliza un enfoque de equilibrio parcial, mientras que la ecología de ecosistemas estudia sus problemas en un contexto de equilibrio más general.

En el primer caso, las variables consideradas se refieren al tamaño biológico de un recurso, mientras que en el segundo se refieren a índices de varios servicios que se resumen, por ejemplo, en índices de la calidad del agua, del suelo, o del aire. Estos índices son un resumen estadístico que permiten el estudio de un sistema complejo a partir de un conjunto limitado de variables (véase, Costanza, 1991). Ejemplos de la

aplicación práctica de esta perspectiva se encuentra en los estudios económicos sobre el cambio climático (Nordhaus, 1994), sobre la eutroficación de lagos, la gestión de dehesas (Walker, 1993) y la contaminación de estuarios (Mäler, et al. 1992).

VI. La crítica a la economía ambiental

En la exposición anterior hemos resaltado dos rasgos característicos que nos parecen fundamentales para caracterizar lo que entendemos por economía ambiental. El primero de esos elementos es un juicio de valor según el cual los problemas ambientales han de juzgarse con un criterio amplio de bienestar (que, por supuesto, no se refiere exclusivamente a los valores mercantiles de los recursos naturales), tal juicio de valor autoriza a considerar la base de recursos ambientales sobre la que descansan todas las actividades humanas (también ampliamente definida), como un «gigantesco stock de capital» (por supuesto, en el sentido amplio del término capital, como algo de lo que depende nuestro bienestar futuro y que tiene el valor de las cosas que

nos permiten preservar opciones de futuro). El segundo rasgo característico, es que, en la búsqueda de la definición de los criterios que deben guiar la gestión de los recursos naturales, es posible proceder a partir del análisis parcial de problemas individuales (como los que plantea el posible agotamiento de las reservas de cobre, la búsqueda del ritmo de capturas de un banco de pesca, el turno forestal de una explotación x , las emisiones de CO_2 , etc.), identificando pautas óptimas que permitan resolver individualmente los problemas, juzgar individualmente la gravedad de los mismos, definir objetivos individuales mas o menos precisos para la política ambiental, establecer precios sombra más o menos ajustados a cada bien o servicio ambiental, etc.

La crítica a la economía ambiental suele concentrarse, aunque no siempre de un modo explícito, en alguna de esas dos características. Sobre la primera de ellas, tratándose de un juicio de valor, cabe múltiples posibilidades entre la que se incluye que el medio ambiente puede tener un valor objetivo; por ejemplo, Naredo (1994, p.392) propone utilizar la

exergia como una medida objetiva que equipara todas las potencialidades termodinámicas de un fluido físico. Su valor es objetivo respecto a las condiciones ambientales dadas y es independiente del aprecio que se tenga por un tipo u otro de manifestación material o energética. Si admitimos que tal diferencia entre los distintos planteamientos se refiere a un juicio de valor, será necesario concluir que todas las posturas son igualmente legítimas y que son útiles en cuanto articulan programas de investigación diferentes, que habrán de juzgarse por las consecuencias observables y por las propuestas para la gestión de recursos que se deriven de ellos.

Sin embargo, a diferencia de lo anterior, el segundo elemento característico de la economía ambiental (la validez de los enfoques parciales), parece derivar de una «cuestión de hecho»: para el análisis económico la escasez de recursos no es un fe-

nómeno absoluto sino algo relativo que se puede percibir, analizar y resolver para cada recurso concreto (sin perder de vista obviamente las interrelaciones físicas que existen, por ejemplo, entre la extracción de petróleo, la generación de energía y la contaminación ambiental). Para ser más específicos, todas las ideas expuestas en los apartados anteriores están basadas en un concepto de escasez relativa según el cual, sobre la base ambiental y de recursos pesan distintas demandas específicas y contradictorias entre sí; estas demandas en principio pueden ser corregidas mediante la utilización de un conjunto de precios sombra, que se derivan de los distintos análisis a que da lugar la gestión de recursos naturales, y que se pueden implementar a través de instrumentos específicos de la política ambiental⁸. La crítica a la economía ambiental, en esta perspectiva, descansa claramente sobre una percepción distinta de los problemas

8 Para esta discusión es suficiente con una definición general del concepto de escasez relativa aunque también es importante aclarar que no se trata de un concepto que pueda ser objeto de una definición única. Para una interesante discusión sobre las distintas acepciones véase, Hanley (1996, cap.8 y 9).

de la escasez económica: todos estamos de acuerdo en que los recursos naturales son escasos, pero no estamos de acuerdo sobre en qué sentido lo son.

La crítica del concepto de escasez relativa, que como veremos está relacionada con el cuestionamiento del juicio de calificación de la economía ambiental, es la que da contenido a la discusión sobre la validez de los resultados presentados en los apartados anteriores. Esta crítica descansa en sostener que el concepto válido de análisis de la economía de los recursos es el de escasez absoluta, según el cual todas las demandas de servicios ambientales aumentan simultáneamente como resultado del crecimiento económico. Es decir, con la expansión económica crecen al mismo tiempo las demandas de materiales, de energía, de servicios de asimilación de vertidos, de servicios recreativos, de calidad ambiental, etc.

Esta crítica tiene también varias versiones: una versión débil se centra en la primera ley de la termodinámica, o el principio de balance material⁹ (según el uso de materiales se traduce simultáneamente en aumento de vertidos y deterioro en la calidad de los medio receptores) y utiliza dicho principio para cuestionar la existencia de una función de producción agregada, como las que propone el análisis económico, en la que es posible un nivel elevado de sustitución entre factores productivos; éste es, por ejemplo, el camino que sigue Christensen (1989), en su definición de las bases de la economía ecológica. De acuerdo con este enfoque, existen límites absolutos a las posibilidades de la sociedad para utilizar materiales y trabajo en la mejora de la calidad del medio ambiente y para reducir las emisiones de contaminantes. Como bien dice Khalil (1990), para justificar el pesimismo tecnológico no es ne-

9 Según esta ley, en un sistema aislado, es decir que no intercambia materia o energía con su entorno, no se puede añadir ni quitar nada al conjunto de materia y energía. Si la materia es indestructible, su extracción y su utilización económica producen, inevitablemente, una cantidad equivalente de residuos.

cesario acudir a la segunda ley de la termodinámica y basta con la primera¹⁰.

La versión fuerte de la crítica del concepto de escasez absoluta, véase Daly (1991), apela a una explicación física en la que intervienen las dos leyes de la termodinámica¹¹. Según el propio Daly (1992): «Si las fuentes de materias primas y los depósitos de vertidos fueran infinitas (o pudieran crearse o destruirse), entonces no importaría si el flujo entre ellos fuera entrópico o irreversible; si la materia y la energía fueran finitas pero no existiera la ley de la entropía, podríamos entonces convertir depósitos de basuras en fuentes de materias y quemar el mismo balón de gas una y otra vez... No tenemos que apelar a la termodinámica para medidas parroquiales y temporales de la escasez relativa, por ejemplo, de pre-

cios que miden la escasez respecto a deseos al servicio de asignaciones óptimas de un flujo dado de recursos entre distintos usos humanos en la presente generación. Pero, la cuestión de la escasez absoluta, o de la escala óptima sostenible de las actividades humanas, no se puede entender sin la ayuda de la termodinámica... La ley de la entropía tiene implicaciones que no son amistosas con la ideología del crecimiento como el *summum bonum* económico». De la ley de la entropía, se deduce entonces que todos los recursos son no renovables y que el conjunto de actividades humanas, al acelerar el flujo de materiales y energía hacia el sistema económico, refuerza el proceso inevitable de degradación de la base de recursos. La consecuencia lógica es una hipótesis de escasez generalizada (que tal vez se nos manifiesta como escasez relativa) y

10 Sobre decir que este tipo de pesimismo también se encuentra en la economía clásica y que a Adam Smith, su padre fundador, no le hizo falta ninguna de las dos.

11 La segunda ley de la termodinámica, o ley de la entropía, puede formularse de muchas maneras. En términos generales, podemos decir que todo proceso de cambio, en la naturaleza o en la economía, exige la utilización de energía; tal energía no disminuye cuantitativamente pero su calidad se degrada irreversiblemente. Para una exposición actualizada de las distintas formulaciones de esta ley, así como de sus implicaciones económicas, pueden consultarse en Baumgärtner (1996)

que cuestiona, cuando no contradice claramente, la posibilidad del crecimiento económico¹².

Si la escasez es un fenómeno absoluto y no relativo, también se derivarán consecuencias prácticas completamente distintas a las que se derivan de la economía ambiental. Los problemas ambientales surgen, en esta perspectiva, de la escala de las actividades económicas. El sistema de precios, observados o construidos por el sistema económico y los incentivos que estos suponen para el comportamiento de los agentes económicos, es una mala guía para la coordinación de las acciones humanas. En ese sentido, Daly (1987) argumenta que el sistema de precios es incapaz de resolver los problemas de escasez, aun en el caso de que los precios relativos sean adecuados. Estos problemas sólo tendrían solución imponiendo límites cuantitativos a la utilización de los recursos y al crecimiento de la población. El cómo se concretan estos criterios en la gestión de los recursos es parte

del programa de investigación alternativo.

Esta presentación puede ser objeto de un análisis débil y uno fuerte. Dentro del primer tipo de cuestiones resaltemos algunos aspectos generales del análisis anterior. En primer lugar, la ley de la entropía se verifica en todo sistema cerrado con independencia de la existencia de un sistema económico y de la civilización. En definitiva se trata de una ley natural que afecta también a la cantidad de energía que puede pasar entre distintas capas tróficas y está por lo tanto directamente relacionada con la posibilidad de una existencia indefinida de cualquier forma de vida en un ecosistema cerrado. En segundo lugar, dependiendo del intervalo de tiempo en el que estos límites se manifiesten, puede ser importante señalar que el planeta que habitamos no es un sistema cerrado, al menos en lo que respecta a la energía, lo que significa que una vez consumidas las reservas de combustibles fósiles (o más exac-

12 Una versión extrema de la escasez generalizada se encuentra en los informes del Club de Roma.

tamente, una vez agotadas las posibilidades de utilizar productivamente las reservas energéticas del planeta), la última restricción estará en el aprovechamiento de un influjo constante de energía solar (la tierra y el sol también forman parte de un sistema entrópico que se degrada, aunque no parece demasiado relevante preguntarnos por lo que hará la civilización cuando el sol se extinga). En tercer lugar, el desarrollo de la civilización ha exigido desde la época de las cavernas, una superación permanente de los límites impuestos por un medio ambiente cada vez menos circunscrito, con un aumento gradual de los sistemas naturales gestionados (y la consecuente disminución de los ecosistemas autorregulados). Por lo tanto, si se admiten las premisas anteriores, la discusión no se debe centrar en si las leyes de la termodinámica condicionan todo proceso de producción y son un elemento en la definición de las posibilidades de crecimiento económico (lo cual es una realidad física inobjetable), si no en qué período de tiempo es relevantes ese tipo de análisis. Más concretamente, la pregunta relevante es qué dis-

tancia nos separa del umbral de bienestar sostenible; vale la pena resaltar que en la referencia citada, Daly parece anunciar que esto ocurrirá en la próxima generación y que, si no se adoptan soluciones radicales, casi todos tendremos la oportunidad de verlo.

Una consecuencia evidente de la ley de la entropía es que con la tecnología actual y con la base de recursos ambientales disponibles, la civilización humana tiene límites definidos para su expansión. Sin embargo, la importancia de la ley de la entropía no se reduce solamente a ese aspecto, que tal vez todos podemos compartir; la ley de la entropía se propone también como modelo para estudiar todo proceso económico de producción ("todo proceso de producción es entrópico y debe entenderse a la luz de la termodinámica"; p.ej. Naredo, 1994) y, a partir de allí, como fundamento del pesimismo tecnológico ("es inútil tratar de revertir el curso de las cosas del orden al desorden"). La crítica fuerte sobre la relevancia de la ley de la entropía se centra precisamente en estos dos aspectos (véase Young, 1991; y Khalil, 1990). Para Khalil, las leyes de la producción no están gobernadas

por la ley de la entropía¹³, desde el momento mismo en que la producción de bienes es una actividad intencionada y no un proceso natural mecánico y espontáneo (en ese sentido, carece de fundamento la propuesta por Georgescu-Roegen, sobre la identificación de los procesos económicos con la ley de la entropía). El hecho de que la producción sea un proceso deliberado implica que la escasez no es un concepto absoluto, sino relativo a la potencia tecnológica del sistema económico (tecnologías de extracción, uso, aprovechamiento, abatimiento de la contaminación, instituciones sociales, etc.). Esta potencia del sistema económico varía en el tiempo y se expande a través del aumento de un factor social de producción que no está sujeto a la ley de la entropía: la información. Abundando en el argumento, podemos decir entonces que la ley de la entropía es un concepto mecánico mientras que la actividad económica es deliberada; la ley de la entropía produce sólo basura, mientras que la economía produce basura y bienes y servicios útiles.

La economía, según el juicio de calificación de la economía ambiental, exige una organización deliberada de la producción y define los valores como algo relativo a las personas que la forman mientras que la entropía es una magnitud objetiva y medible. Georgescu-Roegen, no observa esta distinción, y por ese motivo utiliza un concepto de utilidad equiparable a una magnitud objetiva y definible a partir del grado de entropía (para diferenciar los conceptos alguien a propuesto denominar utilidad al valor de las cosas para las personas y usabilidad a un valor objetivo independiente de lo que piensen las personas). Por ese motivo, los defensores de la relevancia de la termodinámica tienden a definir recursos útiles como recursos de baja entropía y recursos inútiles como de alta entropía. Como la ley de la entropía significa un aumento irreversible de la entropía, en la misma lógica se deduce que los recursos útiles se convierten inevitablemente en inútiles. La

13 Tal vez sí por una ley tal como el ciclo de Carnot que él propone como sustituto (y que, al contrario de lo que se afirma a veces, no es un simple caso particular de la ley de la entropía).

conceptualización de los procesos productivos a partir de un enfoque termodinámico, en clara oposición con los juicios de calificación de la economía ambiental, puede conducir a una teoría objetiva del valor totalmente independiente de las preferencias de las personas (para una discusión al respecto centrada en la teoría del valor véase Naredo, 1987).

Evidentemente si aceptamos la relevancia de las leyes de la termodinámica que propone Georgescu-Roegen, nuestros criterios de gestión de recursos naturales serán contradictorios con la maximización de una función de bienestar. Por ese motivo, el propio Georgescu-Roegen se encarga de proponer nuevos criterios para resolver el problema de la escasez: lo primero que debería hacerse es «sustituir el principio sagrado de maximizar la felicidad por un nuevo principio más adecuado a una entidad virtualmente inmortal... Por lo tanto, como guía para la conducta de la humanidad, recomiendo encarecidamente que deberíamos aceptar el principio de minimizar los remordimientos» (Georgescu-Roegen, 1977, p.318).

VII. ¿Sirve de algo la evidencia empírica?

Las diferencias entre la economía ambiental y la economía ecológica corresponden sin duda a visiones amplias del mundo y de los problemas ambientales. Sin embargo, con el ánimo de concretar la discusión sobre los criterios de gestión de los recursos naturales, en estas notas hemos preferido centrarnos en dos criterios de diferenciación: un juicio de valor y una forma general de conceptualizar el fenómeno de la escasez. Sería inútil tratar de que la evidencia empírica nos ayude a resolver la primera cuestión. Sin embargo, la segunda parece que sí se refiere a una hipótesis que deberíamos ser capaces de aclarar acudiendo a la información que poseemos sobre los recursos naturales.

En el campo de la economía ambiental se ha prestado una cierta atención a la posibilidad de que la escasez sea un fenómeno generalizado y la evidencia disponible ha generado un cierto consenso a favor de que se trata de una hipótesis poco plausible. Así, por ejemplo, Nordhaus (1992) estudia la

escasez a partir de la evolución de los precios de los recursos con relación a los precios del trabajo (para calibrar la escasez de materiales y energía respecto a un exceso de personas y de capital humano). En dicho trabajo se reúne la evidencia disponible sobre la evolución de los precios de algunos recursos energéticos (el petróleo y el carbón), de 8 minerales y los de la tierra de cultivo y de la madera desde 1870 hasta 1989. Estas largas series temporales muestran que los precios de los recursos energéticos, disminuyeron hasta la quinta o la sexta parte (es decir a un ritmo promedio anual del 1,6 por ciento) en los 129 años. A pesar de variaciones temporales en distinto sentido, los precios de los minerales también disminuyeron a un ritmo medio anual entre 1,3 y 2,9 por ciento en el mismo período; el precio relativo del suelo en los Estados Unidos cayó en el último siglo a un ritmo promedio de 0,8 por ciento anual y, sorprendentemente, el único material que experimenta una tendencia sostenida al alza (1,5 por ciento anual) es un recurso renovable: la madera. Estos datos in-

dicarían que los recursos naturales no se hacen más escasos con respecto al trabajo; todo lo contrario de lo que cabría esperar en la hipótesis de la escasez generalizada. Sin embargo, todavía cabe objetar, en la lógica de la crítica al análisis económico, que los precios no son una medida de la escasez relativa (sin embargo, la duración del período de análisis da mucha fuerza a los resultados obtenidos).

El segundo tipo de evidencia se refiere a la forma como ha evolucionado la utilización de energía por unidad de producto. Por ejemplo Kaufmann (1992), un crítico del análisis económico, muestra cómo el uso de energía por unidad de producto ha disminuido en los últimos 40 años en Francia, Alemania, Japón y el Reino Unido (en este caso no existe la posibilidad de elaborar series homogéneas de mayor duración). Esta disminución se atribuye tradicionalmente, en el contexto de la economía ambiental, a dos factores principales: el progreso técnico que reduce la cantidad de energía necesaria por unidad de producto y al efecto de los precios reales que conduce a la sustitución

ción de energía por capital o trabajo, a medida que la primera se encarece (con las salvedades obvias que se deducen de los datos de Nordhaus). Kaufman resalta, sin embargo que las causas mencionadas, aunque tienen un efecto positivo, son menos importantes frente a otras dos causas: la primera de ellas es el cambio en la composición de los usos de la energía en beneficio de recursos energéticos de mejor calidad. En las medidas tradicionales del uso de energía, se reducen las distintas fuentes a una unidad común convirtiéndolas en unidades de calor; sin embargo, la cantidad de trabajo que puede obtenerse de una unidad de calor equivalente no es constante entre las distintas fuentes; de modo que una parte del ahorro energético se debe realmente a una sustitución de fuentes de peor calidad (p.ej. el carbón) por fuentes de mejor calidad (p.ej. gas natural). En segundo lugar, también ha cambiado la demanda de bienes trasladándose hacia bienes menos intensivos en el uso directo de energía. Aunque Kaufmann, sugiere que estas dos últimas causas no son compati-

bles con la economía ambiental, la verdad es que no hay ningún argumento para que no lo sean: la primera es el resultado del progreso técnico, resultado de la escasez de las fuentes tradicionales, que impulsa el progreso técnico en beneficio de fuentes más eficientes; la segunda sólo muestra un comportamiento de la demanda que puede ser compatible con aumentos en los precios de la energía o con cambios de preferencias. Admitido esto, la crítica de Kaufmann se queda en afirmar que los recursos energéticos de baja calidad se están agotando, eliminando con ello las posibilidades de continuar el tipo de desarrollo que hemos conocido hasta el momento. Las posibilidades de otras fuentes de energía de fusión y fisión nuclear, podrían poner en duda esta afirmación.

Por las razones mencionadas, el argumento fuerte de la crítica de Kaufmann, paradójicamente, tiene poco que ver con la información estadística que el mismo aporta. La crítica a la economía ambiental se refiere a que, en su opinión, las medidas tradicionales en las que se pone el énfasis en el funcionamiento del sistema de

precios y en el progreso técnico (en última instancia también impulsado por el sistema de precios), sobrestiman los ahorros energéticos, ya que ignoran el componente energético del capital y del trabajo que se utilizan en el lugar de la energía. No obstante, si se admite que la mayor parte del capital y de los trabajadores que producen en la actualidad tienen menos de 40 años, habrá que admitir también que la evidencia agregada que se presenta sobre ahorros constantes de energía por unidad de producto, está poco expuesta a este tipo de crítica (la energía que se utilizó para producir las máquinas y para alimentar a los trabajadores también está contabilizada y aun así gastamos cada vez menos energía por unidad de producto). Por supuesto, siempre cabe decir que las cuentas nacionales no son un esquema adecuado de contabilidad económica ni, mucho menos, ambiental.

Paradójicamente, la única evidencia que está claramente a favor de la tesis de la escasez generalizada es evidencia microeconómica. Así, por ejemplo, Pimentel, et. al. (1973, citado por Kaufman) sostiene que mientras

el total de energía directa utilizada para la producción de una tonelada de trigo en los Estados Unidos disminuyó un 15 por ciento entre 1959 y 1970, cuando se tiene en cuenta la energía utilizada indirectamente en tractores, fertilizantes y demás insumos, se llega a la conclusión de que el uso total de energía por tonelada de trigo aumentó un 3 por ciento. Este tipo de evidencia, y otra similar que se ha elaborado para la agricultura comunitaria, sólo tiene el valor de un ejemplo, que no permite concluir que para que el crecimiento económico sea posible es necesario un consumo creciente de energía y materiales. Para apoyar el argumento de la escasez generalizada, lo relevante es el balance energético global; sacar conclusiones favorables a tal hipótesis a partir del análisis de un sector económico es equivalente a concluir que, como los intercambios de servicios de Japón con Tahití arrojan un saldo negativo para Japón, entonces Japón tiene un déficit de balanza de pagos. No deja de ser paradójico que los defensores de la hipótesis de escasez absoluta se apoyen en información sectorial, que sólo aporta ejemplos imposibles de generali-

zar, mientras que los de la escasez relativa se apoyen en evidencia agregada que, aunque no se propone como ley de hierro para todos los sectores económicos, parece más oportuna para discutir las distintas versiones del problema de la escasez.

Referencias

- Baumgärtner, S., (1996). "Entropy: A Unifying Concept for Ecological Economics", En: Faber, Manstetten y Proops. *Ecological Economics: Concepts and Methods*, Edwar Elgar.
- Christensen, P.P., (1989). "Historical Roots for Ecological economics", *Ecological Economics*, 1(1), 17-37.
- Clark, C.W., (1976). *Mathematical Bioeconomics: The Optimal management of Renewable Resources*, Jon Wiley.
- Conrad, J.M. and Clark, C.W., (1987). *Natural Resource Economics: Notes and Problems*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Costanza, R. (ed), (1991). *Ecological Economics: The Science of Management of Sustainability*, Columbia University Press.
- Crabbe, P.J. and Long N.V., (1989). "Optimal Forest Rotation Under Monopoly and Competition", *Journal of Environmental Economics and Management*, 17, 54-65.
- Daly, H.E., (1987). "The Economic Growth Debate. What Some Economists Have Learned But Many have Not", *Journal of Environmental Economics and Management*, 14(4), 323-337
- , (1991). "Towards an Environmental Macroeconomics". *Land Economics*, 67: 255-269.
- , (1992). "Is the Entropy law relevant for the Economics of Natural resource and Scarcity?: Of Course it is", *Journal of Environmental Economics and Management*, 23, 91-95.
- Dasgupta, P. and Heal, G., (1979). *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Dasgupta, P., (1996). "The Economics of the Environment", *Proceedings of the British Academy*, Forthcoming.
- Ehui, S.K. and Hertel, T.W., (1989). "Deforestation and Agricultural productivity", *American Journal of Agricultural Economics*, 71, 703-711.
- Faustmann, M., (1849). "On the Determination of the value Which Forest land and Immature Stands pose for Forestry", En: M. Gane. (ed), *Martin Faustmann and the Evolution of Discounted Cash Flow*, Oxford Institute.
- Georgescu-Roegen, N., (1977). "¿Qué Puede enseñar a los Economistas la Termodinámica y la Biología?", *Atlantic Economic Journal*. 13-21 traducido por Aguilera, F. y Alcántara (1994), *De la Economía Ambiental a la Economía Ecológica*, Icaria-Fuhem.
- Gordon, Koopmans, Nordhaus, et.al., (1987). *Towards a New Iron Age?*, Cambridge University Press.
- Hanley, N.; Shogren, J.F. and White, B., (1996). *Environmental Economics: In*

Theory and Practice, MacMillan Texts in Economics.

Hartman, (1976). "The Harvesting decision when a Standing Forest has Value", *Economic Inquiry*, 14, 52-58.

Heal, G.M., (1996). *Interpreting Sustainability*, Columbia Business School, Working Paper.

Kaufman, R., (1992). "A Biophysical Analysis of Energy/Real GDP Ratios", *Ecological Economics*, 6(1), 35-56.

Khalil, (1990). "Entropy Law and Exhaustion of natural resources: Is Georgescu-Roegen's Paradigm Defensible?", *Ecological Economics*, 2 (2), 163-179.

Koopmans, (1957). "The Price System and the Allocation of Resources", *Three essays on the state of the economic science*, McGraw-Hill.

Lewis, T.R., (1977). "Attitudes Toward Risk and the optimal Extraction of an Exhaustible Resource", *Journal of Environmental Economics and Management*, 4, 111-119.

Londero, E., (1987). *Benefits and Beneficiaries*, International Development Bank.

Loury, G.C., (1978). "The Optimal Exploitation of an Unknown Reserve", *Review of Economic Studies*, 45, 621-636.

Mäler, K-G. et al., (1992). "The Baltic Drainage-Basin Programme", *Mimeo. Beijer International Institute of Ecological Economics*, Stockholm.

Naredo, J.M., (1987). *La Economía en Evolución: Historia y Perspectivas de las categorías Básicas del pensamiento Económico*, Siglo XXI.

-----, (1994). "Fundamentos de la Economía Política". En: Aguilera, F y Alcántara (1994), *De la Economía Ambiental a la Economía Ecológica*, Icaria-Fuhem.

Ng, Yew-Kwang., (1996). "Towards Welfare Biology: Evolutionary Economics of Animal Consciousness and Suffering", *Biology and Philosophy*, Forthcoming.

Nordhaus, W.D., (1994). *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*, M.I.T. Press.

Nordhaus, W.D. (1992). "Lethal Model 2: The limits of growth revisited", *Brooking papers on Economic Activity*, 2, 1-59.

Pimentel, D.; Hurd, L.E.; Belloti, A.C.; Foster, M.J.; Oka, J.N.; Sholes, O.D. and Whitman, R.J., (1973). "Food production and the World Energy Crisis", *Science*, 182, 443-449.

Reed, J. and Clarke, H.R., (1990). "Harvest decisions and Asset Valuation for Biological Resources Exhibiting Size-Dependent Stochastic Growth", *International Economic Review*, 31, 147-169.

Solow, R. and Wan, (1976). "Extraction Costs in the theory of Exhaustible Resources", *Bell Journal in Economics*, 359-370.

Spence, A.M., (1974). "Blue Whales and optimal Control Theory". En: H. Gottinger (ed), *Systems Approaches and Environmental Problems*.

Swallow, S.K.; Parks, P.J. and Wear, D.N., (1990). "Policy Relevant nonconvexities in the Production of multiple Forest benefits", *Journal of*

Environmental Economics and Management, 19, 264-280.

Stiglitz J.E. and Dasgupta, P., (1982). "Market Structure and resource depletion: A Contribution to the Theory of Intertemporal Monopolistic Competition", *Journal of Economic Theory*, 28, 128-164.

Walker, B.H., (1993). "Rangeland Ecology: Understanding and Managing Change", *Ambio*, 22.

Weinsten, M.C. and Zeckhauser, R.J., (1975). "The Optimal Consumption of Depletable Natural Resources", *Quarterly Journal of Economics*, 89, 371-392.

Young, J., (1991). "Is the Entropy Law Relevant for the Economics of Natural Resource and Scarcity?", *Journal of Environmental Economics and Management*, 21, 167-169.