

Diego Azqueta y
Antonio Ferreiro (eds.)

ALIANZA ECONOMIA

Análisis económico y gestión de recursos naturales



Reservados todos los derechos. De conformidad con lo dispuesto en el art. 534-bis del Código Penal vigente, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes reprodujeran o plagiaran, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica fijada en cualquier tipo de soporte, sin la preceptiva autorización.

© Diego Azqueta y Antonio Ferreiro (eds.)
© Alianza Editorial, S. A., Madrid, 1994
Calle Juan Ignacio Luca de Tena, 15, 28027 Madrid; teléf. 741 66 00
ISBN: 84-206-6807-9
Depósito legal: M.1214 -1994
Fotocomposición: EFCA, S. A.
Avda. Dr. Federico Rubio y Galí, 16. 28039 Madrid
Impreso en Lavel. Los Llanos, nave 6. Humanes (Madrid)
Printed in Spain

INDICE

Índice de autores	7
Prólogo, por Diego Azqueta y Antonio Ferreiro	11
1. Una introducción a la economía de los recursos naturales y su modelización, por William J. Reed	15
1.1. Tipología y definiciones	15
1.2. Relaciones entre la economía y el medio natural	19
1.3. Principales dificultades en la gestión de los recursos ...	25
1.4. Modelos de gestión de recursos	30
Referencias bibliográficas	32
2. Economía de los recursos naturales: tiempo, incertidumbre e irreversibilidad, por Jon M. Conrad	33
2.1. Introducción	33
2.2. La actualización y el cálculo del valor presente	35
2.3. Explotación de recursos naturales e incertidumbre	40
2.4. Inversiones con consecuencias irreversibles y sujetas a incertidumbre	45
2.5. Equidad intergeneracional	47
Referencias bibliográficas	50
3. La problemática de la gestión óptima de los recursos naturales: aspectos institucionales, por Diego Azqueta	51
3.1. El paradigma de los derechos de la propiedad	53

3.2.	Valoración económica de los recursos naturales: muchos problemas por resolver.....	55
3.3.	El enfoque del equilibrio material: el balance materia-energía.....	67
	Referencias bibliográficas	70
4.	Desarrollo sostenible y gestión eficiente de los recursos naturales, por Carlos Mario Gómez	73
4.1.	Introducción.....	73
4.2.	El problema de la asignación eficiente de los recursos naturales.....	76
4.3.	La regla de Hotelling en una economía competitiva ...	86
4.4.	Eficiencia y desarrollo sostenible.....	89
4.5.	Conclusiones	98
	Referencias bibliográficas	99
5.	Teoría del control óptimo, por William J. Reed	101
5.1.	Introducción.....	101
5.2.	El principio del máximo de Pontryagin	103
5.3.	Extensiones.....	110
	Apéndice 5.1.....	115
	Referencias bibliográficas	117
6.	Programación dinámica y gestión de los recursos naturales, por Jon M. Conrad	119
6.1.	Introducción.....	119
6.2.	Problemas en tiempo discreto.....	120
6.3.	Problemas en tiempo continuo.....	128
6.4.	Conclusiones	134
	Referencias bibliográficas	135
7.	La decisión multicriterio en el análisis y la gestión de los recursos naturales, por Sergio Barba-Romero y Joaquín Pérez	137
7.1.	Introducción.....	137
7.2.	Elementos de la teoría de la <i>decisión multicriterio</i>	138
7.3.	Utilización de la decisión multicriterio en la gestión de los recursos naturales.....	143

Capítulo 4

DESARROLLO SOSTENIBLE Y GESTION EFICIENTE DE LOS RECURSOS NATURALES

*Carlos Mario Gómez*¹

4.1. Introducción

Según el conocido Informe Brundtland² (pág. 4), el «desarrollo sostenible es el tipo de desarrollo que permite satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas»³. Fundamentalmente, esta definición nos propone un objetivo social que, como pocos otros, todos estamos dispuestos a compartir aunque desconozcamos las consecuencias que la búsqueda de tal tipo de desarrollo puede tener sobre nuestro actual nivel de vida. Pero, aunque la declaración de tal propósito compartido tenga sentido en sí misma, no parece suficiente. También es necesario descubrir el modo de conseguir el desarrollo sostenible, lo que plantea no pocos y difíciles problemas, ya que no sabemos casi nada acerca de lo que será importante para las generaciones futuras. No nos es posible conocer sus preferencias, tampoco resulta fácil hacer supuestos plausibles sobre las alternativas tecnológicas de las que dispondrán los habitantes del planeta en un futuro lejano y, mucho menos, sobre el grado de dependencia de sus niveles de bienestar con respecto a algunos recursos naturales que hoy consideramos indispensables para mantener nuestro nivel de vida.

¹ Este trabajo forma parte de una investigación más amplia auspiciada por la Fundación Caja de Madrid.

² Véase The World Commission on Environment and Development (1987).

³ Aunque ésta sea la definición más aceptada, sólo es una de las muchas posibles. El informe Pearce publicado en 1989 contiene 25 definiciones alternativas y sólo unos meses después Pezzey (1989) publicó una compilación que contenía 61 definiciones. Es de suponer que el crecimiento sostenido del número de definiciones hace cada vez más difícil identificar el significado preciso del desarrollo sostenible.

Por ese motivo, al menos como está planteado en nuestra definición inicial, el concepto de desarrollo sostenible no resulta demasiado útil para deducir conclusiones sobre la forma en que han de gestionarse los recursos naturales ⁴. Sin duda, el problema del desarrollo sostenible es una de las preocupaciones sociales de la actual generación y quizá debería haber sido un motivo de preocupación para quienes nos precedieron. Pero, por reconfortante que sea, empezar la discusión de un tema desconocido con una definición capaz de aglutinar todo su significado, puede ser no solamente inadecuado, sino también inútil. Lo que sí podemos hacer es plantearnos algunas cuestiones concretas acerca de nuestro nivel actual de bienestar y del modo en que nuestro estilo de vida puede afectar al bienestar de las futuras generaciones.

Una forma de plantear el problema del desarrollo sostenible consiste en preguntarnos si existe algún nivel de bienestar *per capita* máximo que una vez alcanzado por alguna generación pueda ser heredado por todas las generaciones siguientes. Es relativamente fácil deducir que si dicho nivel de bienestar máximo sostenible no existe tampoco tendrá mucho sentido preocuparse por las generaciones futuras. En primer lugar, si creemos que el nivel de bienestar *per capita* puede aumentar indefinidamente apoyado por un progreso técnico constante ⁵, no tendrá demasiado sentido disminuir nuestro nivel de bienestar para mejorar aún más el de las generaciones venideras. Sin embargo, este panorama excesivamente optimista es irreal; nuestro medio ambiente tiene una capacidad limitada para proveer a la humanidad de recursos esenciales, para absorber y reciclar residuos de todo tipo, y para sostener un nivel de población creciente. Así que, aunque nuestro nivel de bienestar sea sostenible indefinidamente, no es muy realista pensar que su tasa de crecimiento también lo es. En segundo lugar, tampoco valdría de mucho preocuparse por buscar un nivel de vida sostenible si la humanidad estuviera abocada al desastre por haber superado de un modo irremediable los límites de crecimiento que permite su medio natural ⁶. En resumen, la búsqueda

⁴ Según Tietenberg (1992, pág. 600), la novedad del concepto de desarrollo sostenible podría producir impresiones equivocadas y hacer que nos ocurra lo mismo que al emperador cuando le presentaron su nuevo traje (una inspección más minuciosa reveló que carecía de contenido: las cosas no son siempre lo que parecen).

⁵ Si ése fuera el caso sería válido mejorar nuestro nivel de vida reduciendo el de las generaciones venideras. Esta política de justicia entre generaciones estaría tan justificada como cualquier otra política de redistribución de renta destinada a mejorar las condiciones de vida de los menos favorecidos de nuestra generación. Una discusión de este estilo se encuentra en Solow (1974).

⁶ En tal caso ni nuestro nivel de vida ni su tasa de crecimiento serían sostenibles (el único nivel sostenible de consumo sería cero). Cualquier mejora en nuestros niveles actuales de bienestar sólo serviría para acercar en el tiempo el colapso final de la civilización. En ausencia de una prueba irrefutable, la discusión de este tipo de escenario debe reser-

de un desarrollo sostenible sólo tiene sentido si existe algún límite para el crecimiento de nuestros niveles de bienestar individual.

No es difícil admitir que existe algún nivel máximo de bienestar *per capita* positivo capaz de mantenerse indefinidamente de generación en generación. Esto se debe a que disponemos de recursos naturales renovables, de fuentes potenciales de energía abundante (en particular la radiación solar), y de una cierta capacidad del medio ambiente para reciclar una cantidad mínima de residuos de todo tipo. Si admitimos ese supuesto, será válido preguntarse si dicho nivel de bienestar sostenible es superior o inferior al que disfrutamos en la actualidad. Si lo primero fuera cierto, cabría la posibilidad de que nuestro nivel de bienestar creciera a un ritmo cada vez menor hasta converger suavemente a un nivel de vida sostenible indefinidamente (es decir, a un estado estacionario). Esta hipótesis es común a los modelos neoclásicos de crecimiento económico (aunque originalmente fue formulada sin tener en cuenta las restricciones impuestas por los recursos naturales y admitiendo un progreso tecnológico que se ralentiza hasta alcanzar el crecimiento cero en la última y tal vez lejana situación estacionaria). En este panorama, el nivel de bienestar de cualquier generación es al menos tan bueno como el de la generación precedente o, en otros términos, el nivel de bienestar actual es sostenible aunque su ritmo de crecimiento no pueda serlo. Sin embargo, aunque exista un nivel de bienestar sostenible indefinidamente, cabe la posibilidad de que nuestra generación haya superado ese límite y esté disfrutando de un nivel de vida que no podrán heredar todas las generaciones futuras. En tal caso, ni el nivel de bienestar *actual* ni su tasa de crecimiento serían sostenibles y no cabría otra posibilidad que la de restringir nuestro nivel de bienestar hasta aquel que resulte sostenible. Este es el tipo de escenario anticipado por Meadows (1972) y por los sucesivos informes del Club de Roma sobre los límites del crecimiento.

Es prácticamente imposible saber cuál es el nivel de actividad económica y de bienestar que puede mantenerse indefinidamente. No obstante, hay varias razones para pensar que la predicción de un colapso económico inminente es desproporcionada. En primer lugar, aunque la contaminación y la degradación de la naturaleza hayan sido una característica del desarrollo precedente, no parece válido afirmar que los niveles actuales de bienestar sólo se pueden sostener o mejorar con un empeoramiento mayor. La historia reciente de las economías avanzadas muestra que es posible reducir considerablemente los tipos más preocupantes de contaminación a medida que el crecimiento se ralentiza, tal vez de un modo natural. Por otra parte, no es fácil admitir que la deforestación de las selvas tropicales haya sido o sea una condición necesaria

vase a las admoniciones de los profetas y a las reflexiones, más provechosas, de los autores de ficción.

para mejorar a mediano plazo los niveles de vida en algunos países del Tercer Mundo ⁷. Además, durante las últimas décadas se ha reducido notablemente el consumo de energía por unidad de producto y existe todavía un amplio margen para las innovaciones tecnológicas que acerquen el consumo económicamente eficiente de energía a los niveles de eficiencia termodinámica (reduciendo al mismo tiempo la presión sobre las fuentes no renovables de dicha energía). En conclusión, la posibilidad de un nivel de bienestar *per capita* sostenible mayor que el actual es el escenario más plausible, aunque no es posible descartar completamente la alternativa.

Si admitimos que existe un hipotético nivel máximo de bienestar individual sostenible, surgen nuevas preguntas sobre las perspectivas futuras de nuestro nivel de vida a las que dedicamos las secciones siguientes de este capítulo. En primer lugar, nos preguntaremos por el modo en que han de gestionarse los recursos naturales siguiendo criterios de eficiencia económica intertemporal. En segundo lugar, discutiremos la posibilidad de que los mercados competitivos alcancen espontáneamente una forma eficiente de explotación de los recursos naturales. La razón para que dediquemos dos secciones a los problemas de eficiencia económica se debe a que ésta es una condición necesaria para conseguir un desarrollo sostenible; sin embargo, como argumentaremos en la tercera sección, dicha condición no es suficiente y se deben introducir criterios adicionales de equidad intergeneracional. Una vez definidas las dos condiciones necesarias para un desarrollo sostenible (eficiencia intertemporal y equidad intergeneracional), presentaremos dos criterios alternativos para conseguir dicho propósito. Estos «criterios de sostenibilidad» son, en primer lugar, el mantenimiento de un stock agregado de recursos naturales y de capital de creación humana constante y, en segundo lugar, el mantenimiento de un stock de capital natural constante. Finalmente se presentarán las conclusiones más relevantes del capítulo.

4.2. El problema de la asignación eficiente de los recursos naturales

Antes de ocuparnos de los problemas del crecimiento, exploraremos con algún detalle la forma en que el sistema de mercado resuelve el problema de cómo explotar los recursos naturales. Por simplicidad supondremos que los recursos naturales son de propiedad privada y no renovables. Estos supuestos nos permiten concentrar la atención en los

⁷ En algunos países del Tercer Mundo ocurre exactamente lo contrario. La mejora del medio natural es una condición necesaria para mejorar el nivel de consumo (véase Pearce *et al.*, 1990).

aspectos más problemáticos de la asignación de los recursos naturales: el primero de ellos, la propiedad privada, sirve para situar el problema en el contexto de un mercado privado; y el segundo, que los recursos no son renovables, hace imposible la utilización de recursos sin una disminución de la disponibilidad de los mismos para las generaciones futuras. Este último problema no se presenta con los recursos renovables siempre que se exploten a un ritmo menor o igual al de regeneración natural.

Cualquier recurso natural no renovable, ya se trate de una veta de carbón o de un yacimiento de hierro, es ante todo un activo para la sociedad y, en el tipo de sociedad en que vivimos, también es un activo para su propietario particular. Al igual que una máquina, el valor de los recursos naturales es algo que depende de la forma en que éstos puedan ser utilizados para la producción de otros bienes y de la importancia que tengan tales bienes para nuestro nivel de bienestar. La única diferencia se encuentra en que los recursos naturales que nos interesan no son reproducibles, de tal modo que la cantidad disponible de los mismos no puede más que disminuir en el tiempo o, en el mejor de los casos, permanecer inalterada ⁸.

En una economía en la que existen múltiples industrias que compiten por la utilización de insumos productivos, el precio de éstos depende del valor de la producción adicional que pueda obtenerse de ellos. De este modo, al menos en una economía donde opere la libre concurrencia, las actividades industriales demandarán minerales hasta que la productividad marginal de los mismos iguale a su precio de mercado. Sin embargo, esta regla simple de equilibrio estático (que permite explicar por qué razón y en qué medida es útil extraer minerales del suelo) no dice nada sobre el valor económico de las reservas que, en cada momento, permanecen en su estado natural ni sobre el motivo por el que los propietarios

⁸ Esto último es cierto aun en el caso de los materiales reciclables, ya que no es posible recuperar una tonelada de mineral secundario de una tonelada de mineral primario. Los últimos números del *Journal of Environmental Economics and Management* han recogido una importante polémica sobre los límites que existen para la recuperación de materiales degradados. En concreto la discusión se ha concentrado en determinar si tales límites se deben a una ley física (que sería la cuarta ley de la termodinámica) o simplemente a motivos de racionalidad económica (véase Young, 1991; Daly, 1992, y Townsend, 1992). De todos modos, el hecho relevante es que tales límites existen; según la postura adoptada por Daly (1992, pág. 93): «Mientras la materia dispersa requiera para ser procesada de grandes cantidades de energía, y mientras esta energía adicional haga del reciclado una actividad antieconómica, no necesitaremos una ley de entropía con un límite físico para el reciclado. Este límite económico descansa sobre el hecho de que para reciclar materiales altamente dispersos se requiere la utilización de enormes cantidades de energía y otros materiales. Aun en el caso de la energía, no se trata de que sea físicamente imposible reciclar energía degradada, sino de que siempre será necesario utilizar una cantidad de energía mayor que la que se obtiene del reciclado.»

están generalmente dispuestos a conservarlas. Si tales reservas no produjeran ningún rendimiento sin ser extraídas, los propietarios preferirían la extinción inmediata del recurso y la inversión de los beneficios así obtenidos en otras actividades más rentables.

Sólo hay un motivo razonable para conservar ocioso un activo productivo, y es que se revalorice: que su precio esté aumentando. De modo que, aparte de la explicación simple sobre la demanda corriente de minerales, requerimos de una explicación sobre las condiciones de equilibrio en el mercado de activos. En una economía competitiva, el equilibrio del mercado de activos se alcanza cuando todos los bienes de capital de un mismo tipo consiguen una misma tasa de rentabilidad, en parte como dividendos y en parte como valorización del propio bien de capital. Como los recursos naturales que permanecen enterrados no pueden generar dividendos, la única razón que puede explicar que una parte considerable de ellos permanezca inexplorada es que el margen de beneficio que se puede obtener por extraer y vender cada unidad de mineral adicional (R_t), crezca a una tasa igual al interés prevaleciente en el mercado (δ).

Es decir:

$$\frac{\dot{R}}{R} = \delta \quad (4.1)$$

o, de otro modo, si R_0 es el margen de beneficios actual, en cualquier momento posterior (t) dicho margen deberá ser igual a:

$$R_t = R_0 e^{\delta t}. \quad (4.2)$$

Si en el sector de la minería opera la libre concurrencia, este margen de beneficio (R_t) será el equivalente al precio de mercado (P_t) menos el coste de extracción (C_t).

$$R_t = P_t - C_t. \quad (4.3)$$

Si, como es frecuente, el sector es más o menos monopolista tal margen de beneficios será igual a la ganancia marginal del sector (el ingreso marginal menos el coste marginal), y será éste el precio que tendrá que crecer al mismo ritmo que la tasa de interés. Es evidente que todo lo anterior implica que el margen de beneficios del sector minero debe ser superior al de las actividades industriales normales y que dicha diferencia debe crecer permanentemente con el paso del tiempo (por ese motivo R_t se define como la *renta de escasez temporal*).

Este principio fundamental, conocido como la «regla de Hotelling»,

es el único que puede explicar que en todos los períodos de tiempo haya una producción de signo positivo y, al mismo tiempo, que dicha producción no lleve a la extinción de los recursos no renovables en un tiempo igual al que se requiere para extraerlos del suelo. Para que esto ocurra, es indispensable que exista un nivel de explotación inferior al tamaño de las reservas de modo que, considerando el precio de mercado y su evolución futura, los empresarios sean indiferentes entre extraer una unidad adicional o dejarla en su estado natural. Si con cualquier nivel posible de explotación la renta de escasez creciera a un ritmo menor que el tipo de interés, nadie desearía conservar un activo que puede generar un rendimiento mayor convertido en dinero y el recurso natural se agotaría rápidamente. Si dicha renta creciera a un ritmo mayor que el tipo de interés, los yacimientos de mineral serían un buen medio para almacenar riqueza y sus propietarios los conservarían intactos, al menos mientras pudieran obtener de ellos una ganancia extraordinaria.

Por su parte, el valor económico actual de un depósito de mineral (V_0), al menos para su propietario, es igual al valor descontado de todas ventas del mismo después de deducir el coste de extracción y de comercialización (es decir, al margen de beneficio (R_t) multiplicado por la cantidad extraída (Q_t)). Tal valor, o precio de mercado de un depósito de mineral, puede expresarse como:

$$V_0 = \int_0^{\infty} R_t Q_t dt. \quad (4.4)$$

Los empresarios de la minería tratarán de encontrar un ritmo de extracción de tal modo que se haga máximo dicho valor con el nivel actual de reservas de mineral que posean (S_0)⁹.

Cualquiera que sea la decisión de los empresarios, el precio de mercado y el ritmo de extracción están conectados por la función de demanda del recurso. Si dicha demanda es estable en el tiempo, la cantidad extraída deberá reducirse a medida que el precio aumenta. Como los minerales son un insumo productivo, esto quiere decir que a medida que se reducen las reservas, la productividad marginal de los minerales debe aumentar de un modo sostenido. Sin embargo, en la mayoría de los casos (tal vez en todos ellos), el precio no puede crecer indefinidamente. Es probable que exista un precio máximo a partir del cual la demanda se haga igual a cero; esto ocurre cuando el precio de los minerales alcanza niveles prohibitivos o cuando el recurso natural es sustituible por otros materiales a un coste determinado. Supongamos que existe alguna tec-

⁹ Formalmente, esto se reduce al siguiente problema de maximización:

$$\text{Máx } \int_0^{\infty} R_t Q_t dt \quad \text{sujeto a:} \quad S_0 = \int_0^{\infty} Q_t dt; \quad \frac{\dot{R}}{R} = \delta; \quad R_t, Q_t \geq 0.$$

nología en la sombra capaz de sustituir el uso de un mineral o de una fuente de energía, a un coste relativamente alto, utilizando una fuente más abundante. Por ejemplo, actualmente es posible producir hidrocarburos a partir de esquistos o por medio de la licuefacción del carbón, y no es descartable que en el futuro se adapten tecnologías de reemplazo para producir energía mediante fusión nuclear controlada o con el uso masivo de la radiación solar. Algunas de estas tecnologías están completamente desarrolladas aunque no sean económicamente aplicables¹⁰. En el caso que nos ocupa, la disponibilidad de una tecnología de reemplazo significa la existencia de un techo para el precio de mercado de los recursos naturales. En una economía competitiva dicha tecnología se mantendrá sin aplicar mientras existan reservas de aquellos recursos ya que los propietarios del recurso estarán en condiciones de reducir el precio.

4.2.1. Análisis gráfico de la regla de Hotelling

Si por comodidad suponemos un coste de extracción nulo ($C_t = 0$), todo esto puede exponerse con la ayuda de la figura 4.1. El primer cuadrante de dicha figura muestra la evolución del precio a lo largo del tiempo (en este caso el precio de oferta es igual a la renta de escasez, es decir, $P = R$), desde un precio inicial hasta el precio P_R , que hace rentable la utilización de la tecnología de reemplazo. En el cuarto cuadrante se presenta la función de demanda indicando que los compradores están dispuestos a adquirir una cantidad cada vez menor del recurso a medida que se incrementa el precio de mercado; es decir, con el paso del tiempo el recurso natural se hace cada vez más escaso, su precio aumenta y la productividad marginal del recurso no renovable aumenta. El segundo cuadrante permite trasladar una variable (el tiempo) al tercer cuadrante, en el que se muestra la cantidad de mineral que se extrae en cada momento desde el instante inicial hasta su fecha de extinción (T) (es decir, la senda de explotación Q_0A). Este tercer cuadrante también muestra la cantidad total que la sociedad habrá utilizado del recurso desde el momento inicial hasta cualquier momento t ; tal cantidad es igual al área formada por el eje Q y la senda de explotación Q_0A entre 0 y t . En consecuencia, el stock de mineral que se conserva en cada momento (S_t), es igual al stock inicial (S_0) menos la cantidad extraída desde el instante inicial; es decir:

¹⁰ La metodología básica para analizar las implicaciones económicas de la existencia de tecnologías alternativas para producir energía se puede consultar en el trabajo clásico de Nordhaus (1974).

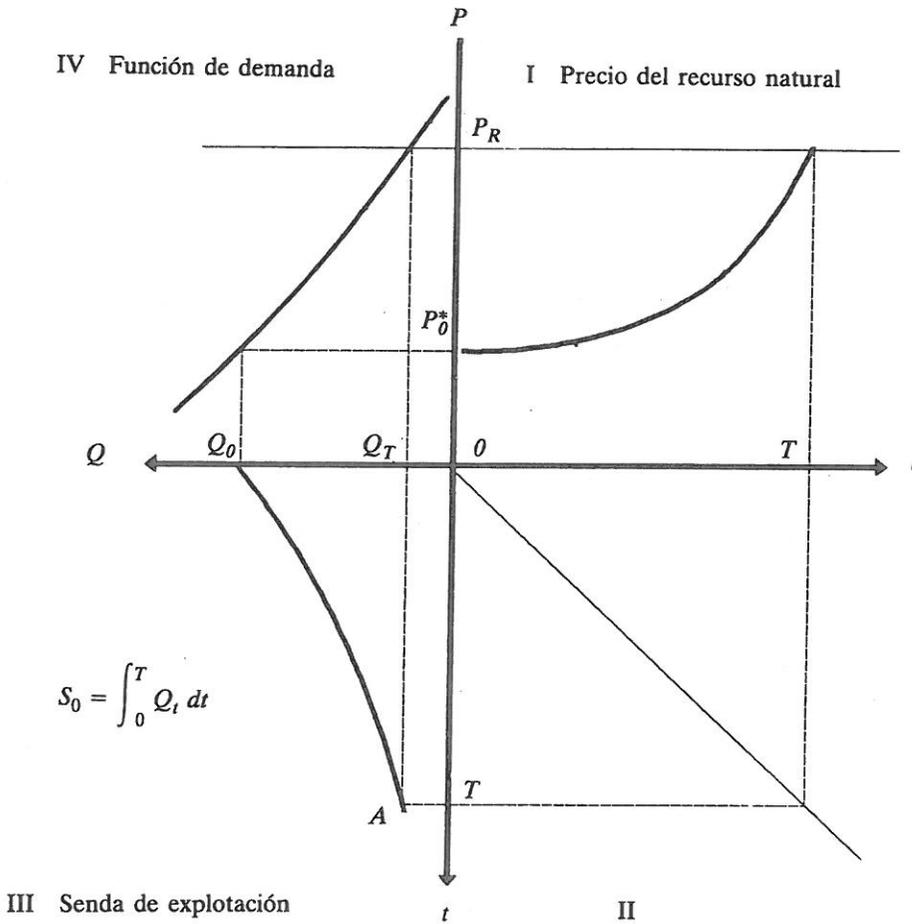


FIGURA 4.1. Senda eficiente de explotación de un recurso no renovable

$$S_t = S_0 - \int_0^t Q_\tau d\tau. \tag{4.5}$$

Aunque discutible como forma de representar el funcionamiento de los mercados de recursos naturales en el mundo real, la regla de Hotelling es una poderosa herramienta de análisis para definir la forma en que deben explotarse estos recursos siguiendo criterios de eficiencia intertemporal. Si contáramos con toda la información necesaria, y teniendo en cuenta que el precio sólo puede crecer a un ritmo predeterminado por el tipo de interés, podríamos averiguar un precio inicial óptimo (P_0^*), de modo que el precio del recurso natural coincida con el de la tecno-

logía de reemplazo en el preciso momento en que la sociedad consuma la última unidad del recurso ¹¹, según la figura 4.1 esto es lo que ocurre en el momento T. Por otra parte, es fácil comprobar que dicho precio óptimo es único; si partiéramos de un precio mayor ($P_0 > P_0^*$), se alcanzaría antes al precio máximo (P_R) y, en ese momento, todavía quedaría un remanente de reservas sin explotar. Cuando eso ocurra, ya que es imposible que el precio siga creciendo, se extraerán todas las reservas restantes en el menor plazo posible y, al final de todo, las demás actividades económicas habrán pagado un precio demasiado alto por disponer del mineral. Es probable, sin embargo, que en una economía competitiva los precios se reduzcan antes acercándose a la senda óptima. Volveremos sobre eso más adelante.

Si, por el contrario, el precio inicial es demasiado bajo ($P_0 < P_0^*$), las reservas se agotarán antes de que el precio haya alcanzado el nivel necesario para hacer rentable la tecnología de reemplazo. En ese momento, tal vez demasiado tarde, la sociedad comprenderá que los minerales fueron un bien artificialmente barato y cualquier transición a la nueva tecnología no estará exenta de sobresaltos en los precios y en los niveles de consumo. También en este caso es probable que, antes de que ocurra una crisis de oferta, las empresas mineras entiendan que es posible subir el precio de venta y reducir el ritmo al que se consumen las reservas que aún quedan enterradas.

En síntesis, se puede deducir que existe un precio inicial, y solamente uno, que garantiza una senda temporal eficiente de explotación de cualquier recurso natural no renovable. Sin embargo, comparado con el mundo real, todo esto puede parecer demasiado teórico. El análisis anterior parte del supuesto, conveniente pero no plausible, de que las circunstancias en que definimos la senda óptima de explotación son constantes a lo largo del tiempo (probablemente a lo largo de mucho tiempo). En el mundo real, los dos precios que en la sombra gobiernan todo el sistema, el tipo de interés y el precio al que se hace rentable la tecnología de reemplazo, son altamente variables. El primero de ellos, el tipo de interés, aunque pueda admitirse que gravita alrededor de un valor de equilibrio de largo plazo ¹², está sujeto a cambios erráticos a corto plazo.

¹¹ Tal como está planteado el problema, la única variable de control es el precio inicial, y formalmente la solución P_0^* conduce a una senda de explotación del recurso natural que hace máxima la suma descontada de los excedentes del productor y del consumidor desde el momento inicial hasta la fecha de extinción del recurso. Para una demostración formal, véase Hotelling (1931).

¹² La conocida como «ley de Bowley», según la cual las participaciones de los factores en la producción total ha permanecido constante durante largos períodos de tiempo (más de un siglo), y la comprobación de que lo mismo ha ocurrido con la relación capital producto, son dos datos que justifican la utilización de un tipo de interés constante en los modelos de crecimiento preocupados por el largo plazo. Véase, por ejemplo, Deane, P., y Cole, W. A. (1967).

Por otra parte, el precio de la tecnología de reemplazo, aun en el caso de que pueda medirse con exactitud, debería ser revisado con cada éxito de laboratorio y cada vez que cambie alguno de los precios de los bienes que dicha tecnología utiliza o podría utilizar como insumos productivos.

Tampoco es fácil hacer conjeturas válidas sobre la demanda futura de minerales, y cualquier previsión se vuelve más endeble en cuanto consideremos un horizonte de tiempo mayor. El volumen y la calidad de las reservas de mineral que todavía alberga el planeta es incierto y, en la práctica, se debe operar con un índice compuesto por las cantidades y calidades de las reservas probadas y probables corregidas por algún factor que revele la propensión o aversión al riesgo de la sociedad (o de quienes decidan por ella). Además, los agentes económicos que deciden en cada momento no cuentan con toda la información que requieren para tomar decisiones eficientes.

Por otra parte, la senda de eficiencia es asombrosamente vulnerable a cualquier cambio de las condiciones de partida (aun suponiendo que contemos con toda la información necesaria y que tengamos la plena certeza de que tal información es correcta). Este hecho se puede ilustrar con algunos ejercicios simples de dinámica comparada, como los que se muestran en las figuras 4.2 a 4.5, en las que se compara una situación inicial (representada por las líneas más gruesas) con la que se produciría si: (a) aumenta el tipo de interés, (b) se abarata la tecnología de reemplazo, (c) aumenta el volumen de reservas y (d) aumenta la cantidad demandada para cada precio anterior.

En primer lugar, podemos analizar el efecto de un aumento del tipo de interés (como el que se muestra en la figura 4.2). Si esto ocurre (según la ecuación 4.1) el precio del mineral deberá crecer más rápidamente. Es fácil deducir que, con la nueva tasa de descuento, el precio inicial anterior (P_0^*) conducirá a una senda subóptima de explotación, ya que, al aumentar más rápidamente, todos los precios futuros serán superiores y, en consecuencia, se reducirán los niveles de consumo; por tal motivo, los nuevos precios convergerán más rápido con el precio que reduce a cero la demanda y en ese momento todavía quedarían reservas inexploradas. Las condiciones de eficiencia intertemporal sólo se pueden restablecer con una reducción del precio inicial (hasta P_1^*), y, en consecuencia, con un cambio de todos los precios futuros y de toda la senda de explotación del mineral. Este caso es suficiente para ilustrar el hecho sustancial de que un pequeño cambio en las condiciones del mercado debe conducir no sólo a un reequilibrio del mercado actual de minerales, sino también de la sucesión de todos los mercados futuros (al menos si se quiere preservar la eficiencia económica intertemporal).

La senda de eficiencia también se verá afectada por cualquier circunstancia que abarate la aplicación de la tecnología de reemplazo (como se ilustra en la figura 4.3). Aunque la cantidad física de minerales sea la

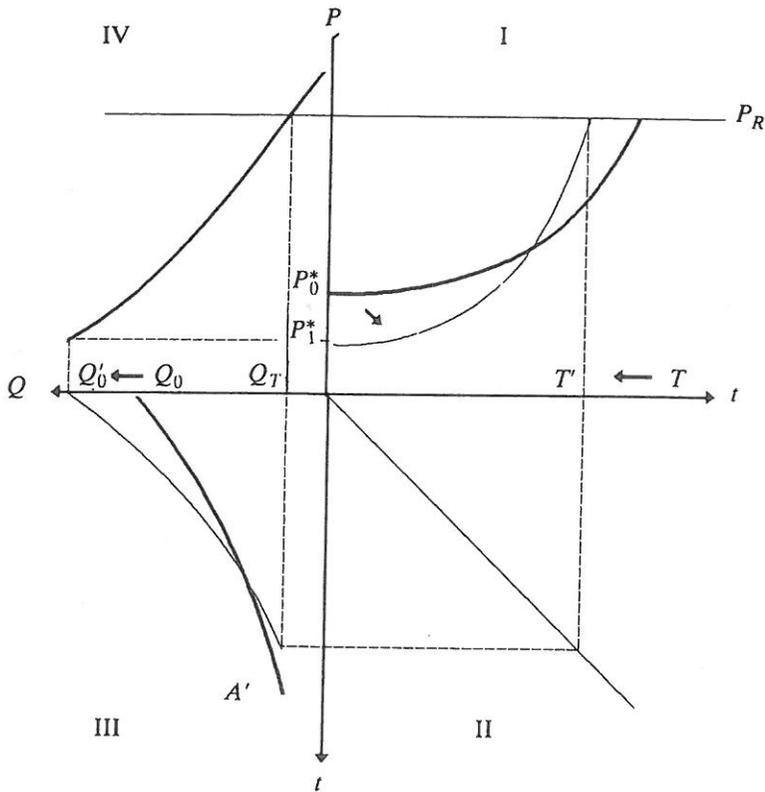


FIGURA 4.2. Cambios en la tasa de descuento

misma antes y después, en términos económicos la mejora en las posibilidades de sustitución del mineral (o, en otras palabras, la disminución del precio de referencia de la tecnología de reemplazo hasta P_R'), significa que el recurso se hace más abundante. Este hecho, la mayor *abundancia económica* del mineral, se deberá traducir en una reducción del precio inicial y de todos los precios futuros y, por lo tanto, en una aceleración del ritmo de utilización del mineral y en un agotamiento más temprano del recurso.

Los cambios en la senda de eficiencia son igualmente sustanciales cuando se produce un descubrimiento que afecta al volumen de las reservas de mineral (como se ilustra en la figura 4.4). Tanto en términos físicos como económicos el recurso minero es ahora más abundante, y todos los precios presentes y futuros deberán ser revisados a la baja, con los consiguientes aumentos en el ritmo de extracción y en los niveles de consumo. Obviamente, la tecnología de reemplazo perderá parte de su atractivo y se retrasará el momento en que entrará en aplicación. Es

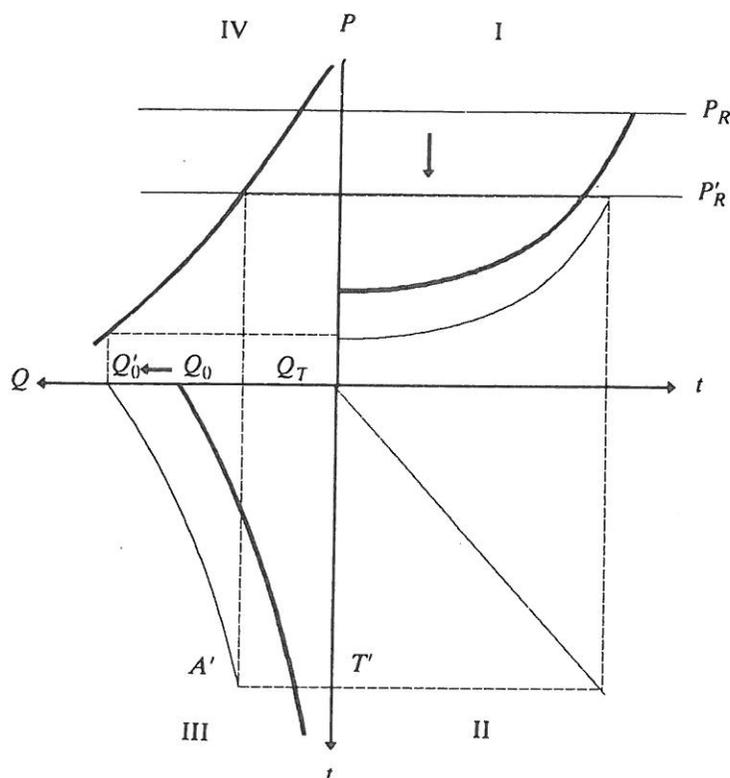


FIGURA 4.3. Mejoras en la tecnología de reemplazo

decir, basta con que se descubra un nuevo yacimiento (o con que se compruebe alguna información sobre las reservas probables) para que los precios actuales y futuros deban ser menores, los ritmos de extracción deban revisarse al alza y se replanteen las perspectivas de aplicar una tecnología de reemplazo. Todo esto será necesario si se pretende restituir la senda de eficiencia intertemporal.

Tal senda de explotación óptima también se puede ver modificada por cambios en las condiciones de la demanda como resultado, por ejemplo, de una mejora tecnológica que reduzca la cantidad de energía necesaria para cualquier nivel de producción anterior¹³. Este caso se presenta en la figura 4.5, a cuya interpretación se invita al lector.

En resumen, si todas las decisiones sociales sobre el ritmo de extracción presente y futuro estuvieran armónicamente coordinadas, el recurso

¹³ Lo que aumenta la productividad marginal de la energía incrementando la cantidad demandada para cualquier precio de referencia anterior.

tamaño de las reservas probadas y probables, la evolución previsible de la demanda y de las tecnologías de extracción, etc.). Por ese motivo, es difícil saber si la regla de Hotelling es capaz de explicar lo que ocurre en la práctica con los mercados de recursos naturales, o si los precios observados pueden interpretarse como aproximaciones a precios de equilibrio intertemporal, o si los precios instantáneos son una guía adecuada para la asignación de recursos.

Cualquier respuesta a estos interrogantes dependerá de la confianza que se tenga en los mecanismos de la economía de mercado. Esto se debe a que en una economía competitiva las consideraciones acerca de cuánto extraer de un recurso natural, y acerca de cuánto dejar en la tierra, actúan en direcciones opuestas. En condiciones ideales, a pesar de que el mercado corriente de minerales sea altamente inestable, el mercado de activos debería servir para corregir las ineficiencias. Sin embargo, es muy arriesgado aceptar que los mercados reales funcionan de ese modo. Por ejemplo, supongamos que los propietarios de los recursos (ante la incapacidad de calibrar todas las circunstancias futuras) se conforman con la idea de que durante el siguiente mes o el siguiente año los precios mantendrán la misma tendencia que en el período inmediatamente anterior¹⁴. Si en dicho período los precios han subido muy lentamente, los empresarios (convencidos de que dicha tendencia se mantendrá en el futuro cercano) aumentarán la producción acelerando la puesta en el mercado del mineral con el fin de convertir más rápidamente sus activos en dinero. Por este motivo los precios de los recursos no renovables crecerán aún más despacio que antes y las previsiones pesimistas iniciales se verán reforzadas con el paso del tiempo. Un razonamiento simétrico conduce a la conclusión de que si se espera que los precios crezcan rápidamente, la retención de la producción conducirá a alzas especulativas en los precios, que tenderán a reforzarse con el paso del tiempo, conteniendo aún más la producción.

Es decir, si en la toma de decisiones predominan las motivaciones de corto plazo, será posible afirmar que aunque exista una senda de explotación eficiente del recurso natural, es poco probable que el mercado la alcance espontáneamente. Aun suponiendo que dicha senda de equilibrio se alcance en algún momento, bastará con que se produzca una mínima perturbación para que cada vez el alejamiento sea mayor y para que cualquier ineficiencia inicial tienda a agravarse¹⁵.

¹⁴ Aunque en otros contextos ésta puede calificarse como una actitud razonable y previsor, en los mercados de recursos no renovables este tipo de expectativas adaptativas puede calificarse de pura miopía. Para un análisis formal del funcionamiento de los mercados de recursos con expectativas, véase Stiglitz (1974).

¹⁵ La analogía con el conocido segundo problema de Harrod en la teoría del crecimiento es evidente: existe una senda de eficiencia intertemporal para explotar un recurso

Tal vez por ese motivo los precios varían más bien erráticamente que siguiendo sendas tranquilas de aumento a medida que se agota el recurso, y los mercados de recursos son altamente vulnerables a la sobreproducción y a la tenencia especulativa. En vista de esto no es apresurado afirmar que la regla de Hotelling tiene más poder explicativo por la forma en que la economía de mercado tiende a incumplirla que como descripción del funcionamiento de los mercados reales¹⁶. Sin embargo, a pesar de todo, la regla de Hotelling sí es una representación válida de cómo deberían funcionar las economías eficientes y de los objetivos que han de guiar la intervención pública en la gestión de recursos naturales no renovables.

4.4. Eficiencia y desarrollo sostenible

Hasta el momento hemos planteado el problema de encontrar una senda temporal eficiente de utilización de un recurso natural en un contexto de *equilibrio parcial*. El objetivo básico consistía en determinar las propiedades deseables de dicha senda de explotación y en discutir la probabilidad de que el mercado la alcance de un modo espontáneo. Aunque tal discusión tiene sentido por sí misma, también es un paso previo para discutir un problema social de mayor envergadura, el del «desarrollo sostenible».

Supongamos, de acuerdo con lo expuesto en la introducción, que es factible que en el futuro se alcance un nivel de bienestar sostenible superior al que disfrutamos en la actualidad. En este caso sería válido preguntarnos si nuestro sistema económico será capaz de elegir la senda de crecimiento adecuada o si, por el contrario, elegiremos una senda que empobrezca a las generaciones futuras¹⁷.

Ya hemos mencionado que es muy posible que los mercados no al-

no renovable, pero dicha senda es tan estrecha y difícil de transitar como el filo de una navaja.

¹⁶ Nada impide que con otros supuestos se llegue a una conclusión más optimista, como, por ejemplo, la que plantea Solow (1974a): «Creo que, en condiciones tranquilas, es altamente probable que los mercados de recursos alcancen sus sendas de equilibrio moderadamente bien o que al menos no se aparten mucho de ellas». Tal vez nuestro supuesto pesimista es que los mercados de recursos naturales no están dominados por condiciones tranquilas; pero eso sólo revela que cualquier conclusión depende de algo tan elemental como la confianza que tengamos en los mecanismos del mercado.

¹⁷ Esta discusión no es necesariamente incompatible con la teoría de Meadows *et al.* (1972) sobre los límites del crecimiento. Tal teoría simplemente sostiene que la sociedad no sólo no elige la senda que conduce al estado estacionario, sino que la sociedad actual ya ha superado el nivel de bienestar sostenible. Si es así, nuestra discusión tendría al menos validez para interpretar la historia pasada.

cancen espontáneamente una trayectoria eficiente de explotación de los recursos no renovables. Pero supongamos que en el futuro los gobiernos encontraran la forma de corregir los fracasos del mercado y garantizar que la regla de Hotelling se cumpla con todas sus implicaciones. De algún modo, que no es necesario discutir aquí, se restaura la competencia perfecta anulando el poder de mercado de los monopolios y oligopolios, se restringe el acceso a los recursos de propiedad común hasta niveles eficientes, se impone un precio de eficiencia a todos los tipos de contaminación y, en cada momento, se garantiza que los precios de los recursos no renovables sean los adecuados para garantizar que solamente se llegue a su extinción cuando existan tecnologías de reemplazo aplicables sin reducir el nivel de bienestar y se cuenta con una información clara y contrastada sobre todas las reservas de minerales y sobre toda la gama de tecnologías de reemplazo. ¿Acaso tal eficiencia económica será suficiente para garantizar el desarrollo sostenible, o necesitamos algo más?

Una forma de responder a esta pregunta consiste en examinar algunos de los modelos que han intentado capturar la esencia del problema del crecimiento económico, en presencia de recursos ambientales limitados. La conclusión común a todos ellos no puede ser más clara: la eficiencia económica es una condición necesaria pero no suficiente para garantizar la sostenibilidad.

Buena parte de la discusión se puede capturar con un sencillo ejemplo de las innumerables «parábolas» que se han discutido sobre el tema, y se puede ilustrar fácilmente con nuestra representación de la regla de Hotelling (véase la figura 4.1). Supongamos una economía simple, con una población estable formada por individuos que comparten los mismos gustos y cuya única actividad económica es la extracción y el consumo de un recurso natural no renovable. De acuerdo con el principio fundamental de la economía de los recursos no renovables, en este caso la asignación eficiente del único bien disponible implicará un nivel decreciente de consumo *per capita* a lo largo del tiempo, a medida que el precio aumenta. En este mundo hipotético cada generación vivirá peor que la que le precede, a menos que cada generación traslade algo de su bienestar a la que toma el relevo. De todos modos si existe un nivel de consumo mínimo de subsistencia, no existirá ninguna asignación del recurso natural sostenible indefinidamente (por muy eficiente que sea). El problema tampoco se resuelve con una tecnología de recambio que haga posible el consumo de otro recurso natural, ya que antes de que esta tecnología sea económicamente viable, será inevitable el descenso gradual del nivel de bienestar (véase la figura 4.1).

Obviamente esta es una representación muy simplificada del problema, pero la conclusión principal se puede comprobar con modelos más sofisticados. Dasgupta y Heal (1979), por ejemplo, llegan a un resultado

parecido utilizando un modelo más realista ¹⁸. Estos autores asumen una economía en la que existe un bien homogéneo de consumo que se produce utilizando capital, una cantidad constante de trabajo y un recurso natural no renovable y absolutamente esencial para la producción. La cantidad limitada del recurso natural puede ser utilizada para producir más bienes de capital o para, en combinación con el capital disponible, producir el bien de consumo. A medida que la sociedad acumula capital, de acuerdo con la regla de Hotelling, la renta de escasez y la productividad marginal del recurso natural aumentan, y disminuyen las reservas que quedan sin extraer.

A diferencia del modelo anterior, Dasgupta y Heal demuestran que existe un nivel de consumo máximo sostenible indefinidamente. Esto se debe a que el aumento sostenido del capital acumulado por la sociedad permite compensar el efecto negativo de la disminución en las reservas del recurso natural sobre el nivel de consumo *per capita*. Sin embargo, los mismos autores demuestran que el uso de una tasa de descuento positiva conducirá necesariamente a niveles decrecientes de consumo, lo que implica que, en ese caso, la sostenibilidad no es posible. La tasa de descuento positiva es un elemento inherente a la dinámica de una economía de mercado y, en consecuencia, nuestra economía, por muy eficiente que sea, no conseguirá situarse en un nivel de bienestar sostenible. El mismo resultado se puede encontrar en Solow (1974), en Hartwick (1977), en Stiglitz (1974), y no es arriesgado afirmar que dicha conclusión forma parte del cuerpo teórico de la economía moderna, al menos en su vertiente neoclásica. En suma, según estos modelos el desarrollo sostenible es posible, pero no es la solución por la que optaría de modo espontáneo un sistema de mercado, ni siquiera en condiciones ideales.

Vale la pena resaltar el papel de la tasa de descuento en esta discusión. Como ya hemos visto en el análisis de la regla de Hotelling, esta tasa de descuento es la variable fundamental que gobierna todo el sistema. No es por tanto sorprendente que buena parte de la discusión sobre el desarrollo sostenible se concentre en la validez de utilizar una u otra tasa para descontar el bienestar de las generaciones futuras. En nuestra discusión sobre la eficiencia dinámica del mercado de recursos naturales hemos admitido, como es plausible en un mercado de propietarios privados, que la tasa utilizada por los propietarios de los yacimientos mineros es equivalente a la tasa de ganancia que éstos podrían obtener si en vez de un yacimiento minero fueran propietarios de un bien normal de capital industrial. Aunque existen muchas razones para pensar que dicha tasa privada de interés no es la más adecuada desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto, el problema no se resuelve con

¹⁸ Tratándose de modelos de crecimiento, el término realismo, o grado de realismo, se debe usar con precaución.

un simple ajuste a la baja de dicho precio. Es la existencia de una tasa de descuento la que parece hacer imposible el desarrollo sostenible. Pero no debería olvidarse que la tasa de descuento es sólo una medida que indica la valoración que asignamos en el momento actual al bienestar futuro; por ese motivo, el problema no se reduce a la modificación de un precio aparentemente inadecuado. Más precisamente, si queremos alcanzar el nivel máximo de bienestar que puede mantenerse indefinidamente, no será suficiente con garantizar la eficiencia económica, es además necesario introducir algún criterio de justicia intergeneracional.

4.4.1. La conservación de un stock agregado de capital constante

¿Qué podríamos hacer entonces para garantizar la sostenibilidad? A primera vista parece que la solución está en forzar que las decisiones de asignación de recursos naturales, o al menos de aquellas que afecten al medio ambiente, se tomen considerando una tasa de descuento nula. Sin embargo, no son pocos los argumentos en contra de dicha forma de proceder. En primer lugar, habría en ello algo de ilegítimo, ya que no es posible desconocer que las personas descuentan el futuro, es decir, que no hay ninguna razón democrática para que la sociedad no haga lo mismo. En segundo lugar, cualquier disminución en la tasa de descuento aumenta el volumen de inversiones rentables, y en consecuencia el uso de todo tipo de recursos naturales y de facilidades medioambientales. En tercer lugar, tal solución es impracticable, ya que es imposible encontrar decisiones de inversión o de consumo que no afecten al medio natural, ya sea porque consumen recursos naturales no renovables o porque utilizan servicios ambientales que son limitados (como la capacidad de absorber residuos).

Afortunadamente el cambio de la tasa de descuento no es el único medio para restituir la equidad entre generaciones. Una segunda alternativa para alcanzar el desarrollo sostenible consiste en garantizar que cada generación herede de la que le precede un stock agregado de capital (natural más físico), al menos igual al que ésta recibió de la anterior, de modo que cualquier reducción en las reservas remanentes de recursos naturales se vea compensada por la acumulación de capital en un volumen adecuado para mantener constante el nivel de bienestar individual. Una forma de alcanzar tal solución es la que se conoce con el nombre de «teorema de Hartwick» (1977). Según este autor, es posible encontrar en el modelo de Dasgupta y Heal un nivel de consumo sostenible con una tasa de descuento positiva, siempre y cuando todas las rentas de escasez se inviertan en la generación de capital para la sociedad. Es

decir, siempre y cuando las rentas de escasez no se destinen al consumo inmediato ¹⁹.

Sin embargo, la validez de esta conclusión depende de un modo crucial de las posibilidades de sustitución entre ambas formas de capital, algo que se asume más o menos por definición en los modelos neoclásicos. Hay distintos motivos para pensar que esto no es siempre posible. En primer lugar, tales posibilidades de sustitución son limitadas; aunque exista una gama cada vez más amplia de materiales sintéticos, nunca será posible prescindir totalmente de los recursos naturales (ni de las leyes de la termodinámica). En segundo lugar, aunque no fuera así, los recursos naturales seguirán siendo indispensables; esto se debe a que el capital natural cumple otras funciones económicas diferentes de las de servir como un insumo productivo. Una definición completa del capital natural debe incluir un amplio conjunto de ecosistemas que se ven afectados por la actividad económica (como son las selvas húmedas, los océanos, las marismas, las pesquerías, la atmósfera, etc.), y que cumplen funciones relacionadas con el soporte de la vida, que no puede cumplir el capital de fabricación humana. Estas funciones son, por ejemplo, la regulación del clima, la protección contra inundaciones, el mantenimiento de la diversidad genética y de los recursos biológicos, etc.

Además, uno de los problemas que impiden llegar a conclusiones definitivas acerca de la función de los recursos naturales en el soporte de la vida y en el mantenimiento de los sistemas económicos es que nos enfrentamos con considerables incertidumbres científicas sobre su papel exacto. Según Pearce y Turner (1990) «No se sabe con exactitud el modo en que los gases-traza funcionan en la atmósfera, la investigación sobre la lluvia ácida todavía se está desarrollando, el papel de las corrientes oceánicas en la determinación del clima es materia de discusión, y lo mismo ocurre con la forma en que las selvas tropicales sirven para proteger el suelo, los ríos y los microclimas. Si pudiéramos estar seguros de los beneficios de sustituir recursos naturales por capital no existiría un problema serio. Pero, cabe la posibilidad de generar irreversibilidades. Si cometemos un error no podremos corregirlo (la selva tropical no se puede crear, las tierras desertificadas son difíciles de recuperar, una vez que desaparece el último ejemplar de una especie única, dicha especie desaparece para siempre)».

¹⁹ La prueba formal de que el teorema de Hartwick conduce a un stock agregado constante de capital en el estado estacionario se debe a Solow (1986). Las mejoras técnicas que reduzcan el consumo de recursos naturales por unidad de producto pueden relajar este criterio de sostenibilidad.

4.4.2. El criterio de un stock de capital natural constante

Si no es posible garantizar que la degradación de los activos naturales y medioambientales pueda ser siempre compensado por un ritmo adecuado de acumulación de capital, otra alternativa para conseguir un desarrollo sostenible consiste en mantener constante el stock agregado de capital natural (véase Pearce y Turner, 1990). Una buena parte de los motivos que avalan este criterio de sostenibilidad son los que ya hemos mencionado; es decir, la imposibilidad de que el capital de fabricación humana pueda sustituir todas las funciones económicas que cumplen los sistemas naturales; el alto grado de incertidumbre acerca del papel que cumplen dichos recursos en las funciones de soporte de la vida, por lo que la conservación del stock actual de capital natural es una estrategia de máxima aversión al riesgo; y el hecho de que a menudo las reducciones del capital natural son irreversibles. Pero todas esas razones pueden englobarse diciendo que la conservación de un stock agregado de capital natural es el único medio con el que contamos para garantizar que nuestro nivel de bienestar no reduce las opciones que tendrán las generaciones futuras.

En este contexto, el stock de capital natural es el conjunto de todos los activos naturales y ambientales, desde las reservas de minerales hasta la calidad del aire y del agua subterránea, pasando por los bosques y los peces y por la capacidad de la biosfera para reciclar y absorber residuos. ¿Qué significa entonces mantener constante el stock de capital natural? Existen dos formas de responder esta pregunta. En primer lugar, si fuera posible asignar un valor monetario a todos los bienes que forman parte del patrimonio natural, sería posible afirmar que el stock de capital natural es constante si su valor agregado permanece constante. Esta interpretación permite que la degradación o la disminución de un activo natural, por ejemplo de un recurso no renovable, pueda compensarse con el aumento de otros recursos naturales, por ejemplo de recursos renovables, o mediante mejoras en la calidad del medio ambiente. Una segunda interpretación posible es el mantenimiento de un flujo constante de servicios provenientes del capital natural, incluyendo la provisión de los distintos tipos de recursos productivos, la asimilación de residuos y la provisión de servicios ambientales.

Cualquiera que sea la definición que aceptemos, este criterio de sostenibilidad implica que el stock existente de recursos naturales y de servicios ambientales se debe tener en cuenta como una restricción para todas las decisiones de asignación de los recursos naturales. En algunos casos esta restricción es relativamente fácil de traducir en reglas prácticas para la gestión de recursos. Por ejemplo, el desarrollo sostenible implica que los recursos renovables deben ser utilizados de modo que su ritmo de extracción no sea superior a su ritmo de regeneración; y que los flujos

de residuos al medio ambiente no deben superar nunca la capacidad de asimilación del medio receptor. Sin embargo, en el caso de los recursos no renovables, tal criterio puede no ser tan evidente. De acuerdo con las definiciones mencionadas más arriba, una primera alternativa consiste en garantizar un ritmo adecuado de sustitución entre recursos naturales no renovables y renovables, de modo que se garantice un flujo constante de servicios. Un ejemplo se puede encontrar en la sustitución gradual de la energía derivada de combustibles fósiles por la energía solar, eólica, etc. La segunda alternativa consiste en garantizar que la reducción de las reservas del recurso no renovable no se traduzcan en una disminución del nivel de bienestar; en este caso la sostenibilidad se logra a través de mejoras en la eficiencia económica; por ejemplo, como ha ocurrido durante el último siglo en los países industrializados, reduciendo el uso de energía por unidad de producción. En el primer caso se garantiza un flujo constante de servicios, y en el segundo un nivel de bienestar constante (mediante el aumento de la productividad, y por lo tanto del valor económico del recurso a lo largo del tiempo). Según Pearce y Turner (1990), ambas nociones no son necesariamente excluyentes, y su aplicación depende de las circunstancias concretas con respecto a las posibilidades de sustitución entre recursos naturales y a las posibilidades técnicas de utilización de los mismos.

Así definido, el desarrollo sostenible se puede introducir fácilmente en el análisis coste beneficio, estableciendo una restricción sobre el uso y la degradación del stock de capital natural. Básicamente, se debe modificar el objetivo de eficiencia económica garantizando que los proyectos de inversión que permitan obtener un beneficio social positivo se acepten solamente si su impacto medioambiental (o la depreciación que ocasionan del stock de capital natural) es cero o negativo. Si se aplica a nivel de cada proyecto esta regla de sostenibilidad puede resultar innecesariamente restrictiva, ya que muy pocos proyectos superarán el test de factibilidad. Sin embargo, a medida que se considera un número mayor de proyectos, la compensación de los efectos negativos sobre el medio permitirá una mayor flexibilidad en la toma de decisiones de inversión. Es decir, lo que ha de ser sostenible no es cada decisión particular de inversión, sino un amplio programa de inversiones (idealmente todo el programa de inversiones de la sociedad). De acuerdo con esto, en cada programa de inversiones se deberán incluir uno o varios *proyectos sombra* adicionales (en la terminología de Pearce), cuyo único propósito es corregir o compensar el daño ambiental ocasionado por los demás. Estos proyectos sombra, por su parte, no pueden ser juzgados con criterios de eficiencia, sino de eficacia económica. Es decir, los proyectos sombra no deben diseñarse con el fin de corregir los impactos medioambientales hasta el punto en que el beneficio marginal de hacerlo sea igual al coste marginal de tales medidas correctivas; en este caso no existe un

correctivo óptimo. Los proyectos sombra deben diseñarse tratando de minimizar el coste social global de corregir o compensar de un modo eficaz todos los efectos negativos de una cartera de proyectos de inversión que degradan el medio natural.

Una posibilidad de relajar las condiciones para que un conjunto de proyectos sea sostenible, es aplicar el criterio de que el valor presente neto de todos los daños ambientales no debe ser negativo. Este criterio, definido como de *sostenibilidad débil* (Pearce y Turner, 1990), permite que durante algunos períodos el impacto medioambiental sea negativo, siempre y cuando se compense por impactos positivos en otros períodos.

4.4.3. ¿Por qué renunciar a la búsqueda de un stock óptimo de recursos naturales?

Podríamos preguntarnos ahora por las razones que existen para mantener constante el stock de capital natural. ¿Acaso no sería más lógico, al menos desde el punto de vista de la eficiencia económica, que tratásemos de determinar un nivel óptimo para dicho stock de recursos naturales? Después de todo, si aceptamos que cualquier cambio en el stock de recursos naturales genera costes y beneficios sociales, ¿por qué debemos descartar la idea de que es probable que la reducción de dicho stock pueda ser provechosa para la sociedad cuando la pérdida de bienestar que produce tal disminución es compensada por los beneficios que se obtienen de ella a través, por ejemplo, del aumento del suelo de uso agrícola que se consigue con la deforestación de la selva o del aumento en la producción que se consigue permitiendo el incremento de las emisiones de contaminantes?

Se pueden esgrimir varios argumentos en contra de la búsqueda de un stock óptimo de capital natural diferente del actual. En primer lugar, aunque aceptemos la lógica implícita en el razonamiento anterior, no contamos con todos los medios para su puesta en práctica. Hasta el momento, no parece posible incorporar todas las funciones del medio natural en el análisis de costes y beneficios (por ejemplo, las funciones de soporte de la vida o los ciclos geoquímicos). Por otra parte, también es materia de discusión el modo en que deben integrarse los estudios de impacto ambiental en el análisis de costes y beneficios sociales o la forma en que deben corregirse los *precios de cuenta* que se utilizan en el análisis económico para incluir el potencial contaminante de los distintos bienes productivos (véase, p. ej., Azqueta, 1992). En segundo lugar, la distinción entre el nivel existente y el nivel óptimo puede ser irrelevante, debido al amplio margen de incertidumbre sobre las consecuencias últimas de la degradación natural y al hecho de que a menudo los efectos de dicha degradación son irreversibles. Por este motivo, el nivel óptimo de capital

natural que aceptemos como válido depende de un modo crucial de la mayor o menor disposición al riesgo que se considere para definirlo. Si se adopta una estrategia en la que la aversión al riesgo es máxima, dicho stock óptimo será equivalente al menos al stock actual. En tercer lugar, el mantenimiento del stock actual de capital natural es una estrategia válida desde el punto de vista del análisis coste beneficio. Esta idea proviene de desarrollos recientes de la teoría económica sobre el uso de la *disposición a pagar* y de la *compensación requerida*, como medidas de los cambios en el bienestar (por ejemplo, Knetsch, 1989). Un modo de evaluar el beneficio de una mejora en la calidad o en la cantidad de un activo ambiental consiste en preguntar lo que las personas están dispuestas a pagar para obtenerla (renunciando al consumo de otros bienes). Del mismo modo, si lo que consideramos es una reducción en la cantidad o calidad actual, una medida de la pérdida de bienestar que esto supone puede ser la compensación que requerirían las personas afectadas para aceptar voluntariamente dicho cambio. La teoría económica predice que la diferencia entre dicha disposición a pagar y la compensación requerida no deben diferir significativamente de modo que, para variaciones marginales en la dotación de bienes ambientales, la medida de la disposición a pagar por una mejora será aproximadamente igual a la compensación requerida por un empeoramiento respecto de la situación actual ²⁰. Sin embargo, los trabajos empíricos sugieren que tales discrepancias son mayores y que en general el valor que damos a un empeoramiento de la situación actual es muy superior al que asignamos a una mejora del mismo tamaño. Según la «teoría de la prospectiva» (Kahneman y Tversky, 1979, y Tversky y Kahneman, 1991), esto se debe esencialmente a que lo que existe se ve también como una referencia puntual para juzgar cualquier cambio de situación y a que asignamos un valor muy superior a las pérdidas que a las mejoras de nuestro bienestar con respecto a esa posición de referencia ²¹.

En conclusión, el mantenimiento de al menos el stock de capital natural constante es un criterio válido para buscar el desarrollo sostenible mientras se opere con información incompleta sobre los beneficios y costes de la degradación o mejora del medio natural (al menos mientras sea imposible apreciar y medir todas las funciones que cumple el medio ambiente) y mientras no sea posible reducir la incertidumbre sobre los efectos futuros de la degradación natural y puedan producirse efectos

²⁰ Según Henderson y Quant (1971, pág. 12): «la relación marginal de sustitución entre dos bienes es la misma con respecto a cambios en ambas direcciones».

²¹ Por ejemplo, Hammack y Brown (1974) tratando de valorar un hábitat natural de patos salvajes, descubrieron que los cazadores estaban dispuestos a pagar 247 dólares para evitar su destrucción, pero exigirían una compensación 4 veces superior para aceptarla voluntariamente. Estas asimetrías están bien documentadas en Knetsch (1989) y Kahneman, Knetsch y Thaler (1990).

irreversibles. Además, la conservación del stock de capital natural actual es un modo de incorporar la equidad intergeneracional dentro de los criterios que deben guiar una asignación sostenible de los recursos naturales. Finalmente, aun en términos de eficiencia, la existencia de una función de bienestar en la que el stock actual es un punto de referencia para evaluar los cambios positivos y negativos en el bienestar añade énfasis a la conservación del stock existente.

4.5. Conclusiones

Si entendemos que el desarrollo sostenible significa la búsqueda de un nivel de bienestar máximo que pueda ser heredado por todas las generaciones venideras, surgen dos condiciones necesarias para que nuestra sociedad pueda conseguir dicho propósito. Tales condiciones son la *eficiencia intertemporal* en la explotación de todos los recursos naturales y los servicios ambientales y la *equidad entre generaciones*, de tal modo que se garantice a los futuros habitantes del planeta que podrán heredar al menos el nivel de bienestar de cualquier generación que les preceda.

Cualquiera que sea el recurso natural que consideremos, existe una senda de explotación del mismo que se ajusta a los requisitos de eficiencia intertemporal; sin embargo, es poco probable que los mercados de recursos alcancen espontáneamente dicha senda de explotación y que los precios de los recursos naturales reflejen adecuadamente la escasez relativa de los mismos. Aunque admitamos que los gobiernos futuros estarán en condiciones de restaurar y garantizar la eficiencia económica, ésta no será una condición suficiente para conseguir el desarrollo sostenible y sería inevitable que en algún momento futuro empiece a disminuir el nivel de bienestar. Ante este panorama surge la pregunta de cómo preservar los intereses de las generaciones venideras o, en otros términos, de cómo conseguir el desarrollo sostenible.

El único modo que tenemos para garantizar que los niveles de vida futuros serán al menos iguales a los que disfrutamos en la actualidad está en la conservación del stock agregado de capital natural existente. Esto se debe a múltiples razones: en primer lugar, a que las posibilidades de sustitución entre capital natural y capital de creación humana son limitadas; en segundo lugar, a que los bienes de capital no pueden reemplazar al medio natural en el cumplimiento de múltiples funciones económicas (dentro de las que se cuenta el servir de soporte de la vida y la regulación del clima y de los ciclos bioquímicos; en tercer lugar, al alto grado de incertidumbre sobre los efectos últimos de la degradación natural sobre el bienestar futuro, unido al hecho de que en muchos casos tal degradación es irreversible.

Aceptar que el desarrollo sostenible se debe buscar a través de la

conservación del stock de capital natural existente significa renunciar a la búsqueda de un stock de capital natural óptimo inferior al que disponemos en la actualidad. Esta forma de buscar el desarrollo sostenible no significa renunciar a la eficiencia económica, ya que el stock actual de recursos es un punto de referencia válido para evaluar los cambios en el bienestar, como lo ponen de manifiesto distintos estudios empíricos y la *teoría de la prospectiva* de la elección económica.

Finalmente, la conservación de un stock de capital natural constante se puede introducir fácilmente en el análisis de costes y beneficios sociales, garantizando que los distintos programas de inversiones globalmente considerados no conduzcan a la depreciación del stock de recursos naturales existente. Esto se logra introduciendo un conjunto de *proyectos sombra* cuyo cometido consiste en corregir o compensar los efectos negativos de los demás proyectos de inversión. Una consecuencia importante es que dichos proyectos sombra no pueden ser evaluados con criterios exclusivos de eficiencia económica, sino de eficacia desde el punto de vista de los costes.

Referencias bibliográficas

- Azqueta, D. (1992). Social Project Appraisal and Environmental Impact Assessment: A Necessary But Complicated Theoretical Bridge. *Development Policy Review*, 10, 255-270.
- Cummings, R. G.; Brookshire, D. S., y Schulze, W. D. (1986). *Valuing Environmental Goods*. NJ: Rowman and Allanheld.
- Daly, H. E. (1992). Is the Entropy Law Relevant to the Economics of Natural Resource Scarcity?— Yes, of course it is! *Journal of Environmental Economics and Management*, 23, 91-95.
- Dasgupta, P. S., y Heal, G. M. (1979). *Economic Theory and Exhaustible Resources*. Cambridge University Press.
- Deane, P. y Cole, W. A. (1967). *British Economic Growth, 1688-1959 Trends and Structure*. Cambridge University Press.
- Hammack, J., y Brown, G. (1974). *Waterfowl and Wetlands: Towards Bioeconomic Analysis*. Baltimore, John Hopkins University Press.
- Hartwick, J. M. (1977). «Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources». *American Economic Review*, 67, 972-974.
- Henderson, J. M., y Quandt, R. E. (1971). *Microeconomic Theory*. McGraw-Hill Book Co. Economic Handbook Series.
- Hotteling, H. (1931). «The Economics of Exhaustible Resources. *Journal of Political Economy*, 39, 137-175.

- Kahneman, D.; Knetsh, J. L., y Thaler, R. H. (1990). Experimental test of the Endowment Effect and the Coase Theorem. *Journal of Political Economy*. 98, 1325-1348.
- Kahneman, D., y Tversky, A. (1979). «Prospect Theory: An Analysis of Decision Under Risk. *Econometrica*, 47, 263-291.
- Knetsh, J. L. (1989). Non Reversible Indifference Curves. *American Economic Review*. 79. 1277-1284.
- Meadows, D. H., et al (1972). *The Limits of Growth*. Universe Books, New York and Earth Island Press. Londres. Traducción al español (1973) *Los Límites del Crecimiento*. F.C.E. México.
- Nordhaus (1974). The Allocation of Energy Resources. *Brooking Papers on Economic Activity*.
- Pearce, D. W., y Turner, K. (1990). *Economics of Natural Resources and the Environment*. Harvester Wheatsheaf.
- Pearce, D.; Barbier, E., y Markandya, A. (1990). *Sustainable Development: Economics and Environment in the Third World*. Edward Elgar. Londres.
- Pezzey, J. (1989). Economic Analysis of Sustainable Growth and Sustainable Development. World Bank Environment Department, *Working Paper* N.º 15.
- Solow, R. (1974). Intergenerational Equity and Exhaustible Resources. *Review of Economic Studies, Symposium*, 29-45.
- (1974a). The Economics of Resources or the Resources of Economics. *American Economic Review*, 64, 1-14.
- (1986). On the Intergenerational Allocation of Natural Resources. *Scandinavian Journal of Economics*. 88, 141-155.
- Stiglitz, J. E. (1974). Growth With Exhaustible Natural Resources. *Review of Economic Studies, Symposium*.
- Tversky, A., y Kahneman, D. (1991). Loss Aversion in Riskless Choice: A Reference Dependent Model. *Quarterly journal of Economics*. 106, 1039-1061.
- The World Commission on Environment and Development (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press.
- Tietenberg, T. (1992). *Environmental and Natural Resource Economics*. Harper Collins Publishers.
- Townsend, K. H. (1992). Is the Entropy Law Relevant to the Economics of Natural Resource Scarcity? Comment. *Journal of Environmental Economics and Management*, 23, 96-100.
- Young, J. (1991). Is the Entropy Law Relevant to the Economics of Natural Resource Scarcity? *Journal of Environmental Economics and Management*, 21, 167-169.