

ESTUDIOS

ROBERT T. DEACON (*)

Los recursos no renovables y el medio ambiente (**)

1. INTRODUCCIÓN

El uso de los recursos naturales tiene a menudo repercusiones apreciables sobre el medio ambiente. Por ejemplo, el uso del suelo para cultivos provoca el aterramiento de arroyos y lagos, deteriorando los hábitats de los peces. La explotación a cielo abierto del carbón perturba los ecosistemas al eliminar suelo y vegetación. El transporte y tratamiento de recursos puede causar impactos adicionales, como los vertidos de petróleo provocados por accidentes de petroleros y la contaminación del agua derivada de la transformación industrial de los productos agrícolas. Por último, el consumo de cualquier recurso resulta en la generación y transmisión de residuos que retornan al medio ambiente. Como se ha indicado brevemente, las leyes físicas imponen una estrecha conexión entre la tasa de utilización de los recursos y a la que los residuos se generan.

Este estudio examina la conexión física entre el uso de recursos y el medio ambiente. Describe, en líneas generales, la teoría económica que explica cómo los mercados asignan los recursos no renovables a lo largo del tiempo, valora la eviden-

(*) Catedrático de Economía, Universidad de California Santa Bárbara.

(**) Este artículo se presentó en forma de conferencia en un curso de verano sobre Economía del Medio Ambiente en la Universidad Internacional Menéndez y Pelayo, Barcelona (España), dirigido por Pere Riera y celebrado el 26 de junio de 1995).

cia reciente sobre las tendencias de escasez de los recursos y evalúa las distintas opciones de políticas a fin de mitigar los impactos medioambientales derivados del uso de los recursos. Especial atención se dedicará a la agricultura, sobre todo a partir de efectos ilustrativos en este sector.

1.1. Recursos no renovables frente a recursos renovables

Un recurso es *renovable* si su stock puede regenerarse mediante procesos naturales, como ocurre, por ejemplo, con un bosque. Si se corta y extrae una parte del stock de madera de un bosque, éste puede regenerarse naturalmente y, potencialmente ser explotado otra vez en el futuro. Un acuífero utilizado para el riego de cultivos es renovable si se vuelve a proveer a través de la filtración del agua de lluvia. El término renovable no implica que se produzca *necesariamente* la regeneración de los stocks agotados, solamente que dichos recursos, pueden soportar indefinidamente un consumo positivo y no decreciente descenso, si se utilizan con moderación (1).

Un recurso es no *renovable* si su stock no se regenera por medios naturales en períodos de tiempo que sean relevantes para la toma de decisiones por parte de las personas. Ejemplos significativos son los suelos agrícolas, las aguas subterráneas procedentes de acuíferos no «recargados» y los combustibles fósiles (2). Aunque los procesos naturales reponen de hecho estos recursos, la tasa de formación es lo suficientemente lenta como para considerar que los stocks existentes en un momento dado no están aumentando. Este límite de recursos fija un límite superior al consumo total posible en la actuali-

(1) Evidentemente, es posible agotar algunos stocks de recursos con cosechas excesivas, p. ej., poblaciones de peces o de especies cinegéticas, y existen numerosos ejemplos constatados de extinción como consecuencia de la explotación humana. Ejemplos de lo anterior son la paloma pasajera a manos de los colonos europeos en Norteamérica, el moa en Nueva Zelanda y numerosas especies de aves a manos de los polinesios que emigraron a las Islas Hawai. Se ha especulado con que la desaparición de una variedad de animales de gran tamaño en el continente norteamericano durante el Pleistoceno se debió a la caza excesiva realizada por los humanos primitivos que emigraron a través del estrecho de Bering durante la última glaciación. Véase V. L. Smith (1975).

(2) Los suelos son un factor en la producción agrícola y los stocks de suelos se agotan por la erosión producida por el viento y el agua como consecuencia de su aprovechamiento agrícola. Véase Miranowski y Carlson (1993, p. 5) para un estudio más amplio del suelo como recurso no renovable.

dad y el futuro, y garantiza, por tanto, que las tasas de utilización de dichos recursos posiblemente descenderán.

La distinción entre renovable/no renovable ayuda a contextualizar los tipos de problemas que afrontan las sociedades a la hora de asignar estos recursos. En el caso de los recursos renovables existen consideraciones importantes como la posibilidad de extinción y la elección de cultivos sostenibles alternativos. Por lo que respecta a los recursos no renovables, las principales inquietudes son las cantidades de recursos que quedarán para el consumo futuro, así como la posibilidad de sustituirlos por inputs manufacturados cuando los recursos naturales desciendan.

1.2. El uso de recursos y el principio del equilibrio de materiales

Los stocks de recursos no renovables son concentraciones locales de elementos que siempre han existido y existirán en la Tierra. En una primera aproximación, la masa de materiales de la Tierra es fija y seguirá siéndolo. La extracción, el transporte, el tratamiento y el «consumo» de estos recursos no los destruye en absoluto, sino que los dispersa y modifica su forma. El *principio del equilibrio de materiales* reconoce este hecho y apunta a una relación estrecha entre la masa de recursos extraídos para la actividad económica y la masa de «residuos», o subproductos no deseados, que acaban por regresar al medio ambiente. A largo plazo, estas dos masas deben igualarse (3).

La agricultura nos ofrece un buen ejemplo para ilustrar este principio, como es la eliminación de bosques para la producción agrícola. A menudo, se quema biomasa forestal para liberar nutrientes en el suelo, con el fin de aumentar la producción agrícola. No obstante, esta liberación beneficiosa de

(3) Existe necesariamente un cierto grado de arbitrariedad en la definición de lo que constituye una extracción de recursos. Por ejemplo, la agricultura suele provocar la erosión del suelo en terrenos colindantes, y los cursos de agua cuando desembocan en lagos u océanos. ¿Hasta qué punto debe considerarse lo anterior como una extracción? Cuando se extrae y transporta grava para crear caminos sin pavimentar o se transporta tierra de relleno para ajardinado, ¿tiene lugar una extracción y existe emisión de residuos? ¿Y qué decir del agua utilizada por las familias que habitan en las afueras para mantener verde su césped? Pese a estas ambigüedades, el principio de equilibrio de materiales sigue siendo útil para ofrecer una perspectiva de «equilibrio general», una que obliga al analista a tener presente las identidades contables que la naturaleza impone a la actividad humana.

nutrientes al suelo representa sólo una parte de la biomasa forestal eliminada. El resto se libera bien a la atmósfera, contribuyendo al aumento del nivel de carbono en la atmósfera, o a los cursos de agua y lagos reduciendo, posiblemente, la calidad del agua. Dichos subproductos no son necesariamente perjudiciales para el medio ambiente y algunos subproductos, que de otro modo sí serían perjudiciales, pueden ser tratados o transportados a fin de mitigar sus efectos no deseados. Sin embargo, su masa no puede alterarse, siendo éste el punto esencial. Como establece el principio del equilibrio de materiales, la masa de materiales que vuelven al medio ambiente únicamente puede reducirse disminuyendo la masa extraída: mediante el uso más eficiente de las materias primas, el incremento de la durabilidad de los activos, el aumento del reciclaje de residuos o la disminución de las tasas de consumo.

Es difícil hacerse una idea del volumen de recursos naturales que una economía industrializada moderna utiliza. Datos correspondientes a Estados Unidos para 1989 indican que 4.500 millones de tm de recursos naturales se utilizaron como factor productivo, lo que representa 18 tm por habitante (4). De dicha cantidad, el 40 por ciento correspondió a materiales de construcción, como piedra, tierra y grava para carreteras, edificios, entre otros. En torno al 38 por ciento correspondió a combustibles para calefacción, cocina, transporte y la fabricación de bienes y servicios. Los alimentos y los minerales industriales representaron, cada uno, en torno al 7 por ciento, y el 8 por ciento restante correspondió a metales, productos forestales y materiales orgánicos renovables (5). Todas estas sustancias provocan efectos no deseados sobre el medio ambiente, incluidos perjuicios al sistema respiratorio humano, corrosión de estructuras, daños a cosechas y bosques, así como cambios en la atmósfera y en el clima.

La estrecha conexión entre el uso de recursos no renovables y la calidad del medio ambiente, unida a la necesi-

(4) La fuente de esta información es el capítulo 1 de *World Research Institute* (1994).

(5) Hay dos observaciones que merecen ser enfatizadas. Una es el alto porcentaje de materiales de construcción sobre el total, la mayor parte de los cuales se trasladan de un lugar a otro con escasa transformación e impactos medioambientales relativamente suaves. La segunda es el importante peso de los combustibles fósiles, cuyos efectos medioambientales distan mucho de ser moderados. La utilización de estos combustibles produce emisiones de un volumen equivalente de residuos en forma de cenizas y partículas de suspensión, compuestos por azufre y nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, y óxidos de carbono.

dad de elegir entre presente y futuro a la hora de asignar stocks, hace que sea importante comprender tanto los principios de asignaciones de recursos no renovables eficientes así como el funcionamiento de los mercados de dichos recursos.

2. ASIGNACIONES POR EL MERCADO DE RECURSOS NO RENOVABLES

La producción de un recurso no renovable extraído, como las aguas subterráneas destinadas a la agricultura de regadío o el carbón para la generación de electricidad, exige dos tipos de factores: factores de extracción, como las bombas de agua o los trabajadores de la minería; y un stock del recurso por extraer (6). La teoría sobre el funcionamiento de los mercados de recursos no renovables puede desarrollarse si se centra la atención en un ejemplo simplificado en el que el stock posee una calidad homogénea y el coste de extracción del recurso es constante. Bajo estas condiciones, el coste unitario del producto extraído equivale al coste unitario de extracción (C), más el valor por unidad del stock no extraído (M). En condiciones competitivas, el precio de mercado del recurso extraído (P) igualará su coste marginal: $P = C+M$.

Para aclarar la notificación anterior, considérese el caso de las aguas subterráneas utilizadas en la agricultura de regadío. En este ejemplo, C representa el coste de elevar el agua a la superficie y M es el valor para el agricultor de una unidad de agua en el *acuífero*. El bombeo y uso de una unidad de agua subterránea tiene un coste unitario de C+M; el primer término es, simplemente, el coste de bombeo y el segundo es la reducción de valor del stock de aguas subterráneas del agricultor (7). Si el agricultor vende agua, P es el precio mínimo al que estaría dispuesto a vender; además, P es el precio imputa-

(6) En los capítulos 2 y 3 de Griffin y Steele (1986) se realiza un exhaustivo tratamiento introductorio de los fundamentos económicos de las asignaciones de recursos no renovables.

(7) En el caso de las aguas subterráneas, típicamente, la reducción del stock hará descender el nivel superficial del acuífero e incrementará los costes de bombeo futuros. En tal caso, sería incorrecto suponer que C es fijo y sería necesario un análisis más complejo. Véase en Zilberman, Wetzstein y Marra (1993, p. 80 y ss.) un análisis más pormenorizado del tratamiento de las aguas subterráneas como un recurso no renovable.

do que el agricultor debería aplicar a su propio uso del agua. En el caso de un combustible fósil, C es el coste unitario minero o de extracción, M es el valor unitario del mineral subterráneo, es decir, el precio de un derecho sobre el subsuelo, y P es el precio de venta del recurso extraído.

El general, M no permanecerá constante a lo largo del tiempo. A medida que se sucede la extracción, se vuelve menos abundante, por lo que su coste marginal generalmente se incrementará. Como consecuencia el precio del producto extraído (P) también aumentará con el tiempo. La cuestión clave estriba en saber cuáles serán las tasas de crecimiento de P y M . El razonamiento económico básico indica que la tasa de crecimiento proporcional de M debe coincidir con el tipo de interés r . En el caso de las aguas subterráneas, M es el valor unitario del agua en el acuífero. Para el agricultor que lo posee, este agua es un activo y la única rentabilidad que puede ofrecerle mientras esté en el subsuelo proviene de un incremento de M , su precio o valor unitario (8). Si M estuviese creciendo a una tasa superior a r , el agricultor desearía almacenar agua en el acuífero en lugar de utilizarla, ya que su mantenimiento le ofrecería una rentabilidad superior a la de otros activos de la economía. Si M creciese a una tasa inferior a r , no existirían incentivos para que el agricultor la almacenase más allá del primer período, pues en este caso, su rentabilidad sería inferior a la de otros activos de la economía. Si el agricultor ha asignado agua entre presente y futuro de forma que maximiza el valor actual del rendimiento de la explotación agrícola, obtendrá una rentabilidad igual a la de otros activos de la economía. En consecuencia, el valor unitario del agua en el acuífero aumentará a la tasa porcentual r anual.

(8) Los stocks de recursos no crecen ni se deprecian. En el sencillo ejemplo descrito en esta sección, no prestan ningún servicio de consumo al propietario que los mantiene *in situ*. Tratándose de activos, su rentabilidad total se obtiene en forma de retribución del capital y la necesidad de que la tasa proporcional de aumento de la plusvalía coincida con las tasas de retorno de otros activos tan solo es, de hecho, un requisito para el equilibrio de los mercados activos. En modelos más complejos, el stock de reservas se utiliza como una especie de capital que reduce efectivamente los costes de producción. (Véase, por ejemplo, Pindyck, 1978). En estos casos, no es necesario que la tasa de incremento del precio de los derechos al subsuelo iguales el tipo de interés. No obstante, siguen siendo aplicables, por lo general, las «aclaraciones» que aporta el modelo más simple sobre el funcionamiento de los mercados de recursos no renovables.

Dado que M crecerá a un ritmo equivalente al tipo de interés, su valor en cualquier período viene dado por:

$$M(t) = M_0 e^{rt} \quad [1]$$

donde M_0 es el valor unitario del stock no extraído en un período inicial de referencia y e es la base de los logaritmos neperianos. De manera intuitiva, si M sigue esta senda, el valor actual de la rentabilidad de la liquidación de una unidad de stock, será igual en cada período, haciendo al propietario racional indiferente entre utilizar una unidad o posponer su utilización para el futuro. Como el precio o valor unitario del recurso extraído coincide con el coste de extracción más M , el valor de P en cualquier período es:

$$P(t) = C + M_0 e^{rt} \quad [2]$$

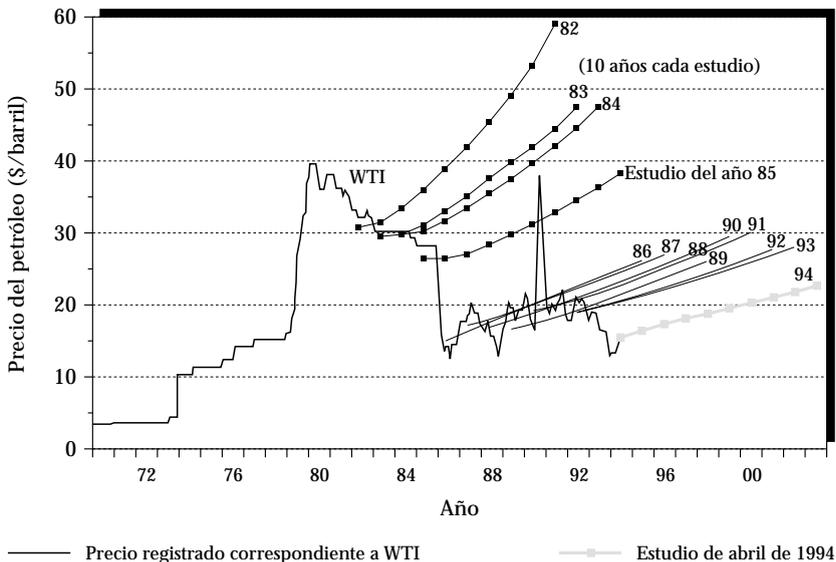
Aunque esta expresión permite predecir cómo variarán en el tiempo P y M , únicamente identifica sus valores en el año t hasta el término constante M_0 . Esta constante viene determinada por la condición de que el consumo total del recurso, una vez sumado para todos los períodos futuros, no supere el stock disponible. El que la demanda iguale a la oferta disponible es una exigencia a satisfacer a muy largo plazo. Los acontecimientos que modifiquen la demanda o la oferta de largo plazo desplazarán bruscamente M_0 . Correctamente interpretada, por tanto, la teoría predice que P y M crecerán, de manera constante en el tiempo, solamente en la medida en que permanezcan inalterados los factores que determinan M_0 .

El ánimo de lucro de los propietarios del recurso crea un incentivo privado de conservación del recurso para su consumo en el futuro. Un agricultor que utilice una unidad de agua subterránea en el período actual necesariamente pierde la oportunidad de asignarle un uso de un mayor valor en el futuro. El beneficio que obtendría un agricultor utilizándola en el futuro, debidamente descontado, equivale al coste de utilización hoy de una unidad del stock. Todo lo que incrementa este valor futuro esperado, como la expectativa de intensas demandas de agua en el futuro, eleva el coste de uso hoy y aumenta la cantidad conservada para uso futuro.

2.1. Dinámica comparativa

La observación de los precios reales para un recurso no renovable, como el petróleo, revela que no siguen una tendencia creciente suave, como sería de prever si M_0 se mantuviese constante. En el gráfico 1 se muestran los precios reales y «predichos» durante el período 1970-1994. Los precios reales, representados por la línea continua, se expresan en términos nominales. Las distintas curvas crecientes que parten de la línea de precios reales representan previsiones para 10 años de los precios del petróleo, realizadas por la Sociedad de Ingenieros para la Evaluación del Petróleo en los años indicados utilizando una fórmula como la ecuación [1]. Esto puede dar que pensar a quien pretenda predecir los precios futuros de la energía o los valores unitarios del agua subterránea basándose, simplemente, en la tendencia de crecimiento porcentual r . Como se explicó anteriormente, los cambios en los factores que afecten las condiciones a largo plazo de demanda u oferta causarán saltos discontinuos en la tendencia. Estas variaciones

Gráfico 1



fueron evidentemente frecuentes durante el período examinado.

El ejemplo más característico de suceso en que aumenta la oferta a largo plazo es el descubrimiento de un yacimiento de recursos desconocido anteriormente. Éste provoca un descenso de M_0 y que la senda del precio caiga en el momento del descubrimiento. Si tan sólo tuviese lugar este cambio, la curva del precio describiría una línea uniformemente creciente antes de la fecha de descubrimiento, una caída en la fecha de descubrimiento, y a partir de entonces una línea inferior creciente.

Entre los factores relevantes de la demanda de largo plazo se encuentran la posición y la forma de la curva de demanda del recurso extraído, el tipo de interés y el coste unitario de extracción. Un incremento de r indica que las demandas futuras son menos importantes, por lo que se producirá un salto hacia abajo de M_0 . Sin embargo, como se desprende de la ecuación [2], una subida de r implica una tasa de crecimiento t rápida de los precios futuros. En resumen, el efecto predicho es que M descienda bruscamente y aumente a continuación más rápidamente de como lo hacía antes del incremento de r . Asimismo, la teoría predice que el uso del stock del recurso se trasladará del futuro al presente y que se adelantará su agotamiento. Caídas de r provocarán el efecto contrario.

La introducción de un sustitutivo renovable del recurso no renovable también reduciría la demanda a largo plazo. Un ejemplo sería la introducción de aguas superficiales, a un precio unitario constante, en una región agrícola que dependiese anteriormente de aguas subterráneas, no renovables. Otro sería el descubrimiento de un proceso de fusión que genere energía barata, sustitutiva de los combustibles fósiles, a partir de una materia prima abundante. Dichos sustitutos, denominados a veces «fuentes de oferta sustitutivas», reducen la demanda del recurso no renovable que se encuentra por encima del precio «sustitutivo». Esto tiene como efecto la reducción del valor unitario del stock no renovable y el adelanto de la fecha de agotamiento. Al producirse el agotamiento, los usuarios comienzan a utilizar el recurso renovable sustitutivo.

Por último, considérese el efecto de un incremento del coste de extracción unitario (C). Dado que reduce los beneficios derivados del uso del stock extraído, este cambio recorta

bruscamente el valor de una unidad del recurso no extraído (M). Después de este efecto, su valor volverá a subir a la tasa proporcional r . Puede demostrarse que el valor del recurso extraído (C+M) se incrementa inmediatamente cuando aumenta C, y pasa a tener una tasa de crecimiento inferior a la de antes. En este caso el uso del recurso se traslada al futuro y se aplaza el momento de su agotamiento.

Estos resultados son aplicables a los mercados competitivos de recursos, en los que la propiedad de los stocks de recursos no está muy concentrada. Si la propiedad de los stocks estuviese lo suficientemente concentrada como para permitir la fijación monopolista de los precios, el modelo debería someterse a modificaciones. Como en el caso anterior, la decisión de utilizar hoy una unidad del stock reduce el beneficio obtenible caso de usarla en el futuro, y este beneficio futuro sacrificado es un coste de oportunidad de su uso hoy. Para el monopolista, el beneficio por la venta de una unidad marginal es el ingreso marginal unitario, que difiere del precio debido a que el monopolista debe tener en cuenta que la producción y venta de una unidad adicional reduce el precio que puede ser recibido por todas las unidades. El equilibrio del monopolista exige que se adapten las ventas de stocks de recursos no renovables de forma que el valor actual del ingreso marginal sea el mismo en todos los períodos.

La trayectoria del precio resultante del monopolio depende de la forma de la curva de demanda del recurso extraído. En los casos más verosímiles, el precio monopolístico es inicialmente superior, pero crece a una tasa menor de la que existiría en condiciones competitivas (9). Como consecuencia de lo anterior, el monopolista generalmente tardará más en agotar el recurso que una industria competitiva.

A la vista de estos resultados, puede interpretarse la trayectoria de precios descrita en el gráfico 1. El incremento de precios de 1973-1974 coincidió con el hecho de que la OPEP pasase a considerarse un cártel aparentemente eficaz. Aunque la OPEP seguramente nunca fue un monopolio, sus miembros controlaban de hecho gran parte de las reservas mundiales y,

(9) De acuerdo con nuestro modelo, con coste de extracción constante, tipo de interés constante, demanda estacionaria y sin incrementos de reservas, este resultado se producirá en la medida en que la curva de demanda se vuelva más elástica a medida que descienda la cantidad consumida. En Dasgupta y Heal (1979, capítulo 11) se aportan datos al respecto.

durante un tiempo, parecieron capaces de actuar concertadamente a fin de lograr cierto grado de poder monopolístico. La subida de precios ocurrida en aquellas fechas es coherente con lo que la teoría predice para el momento en que se forma un monopolio (10). La revolución de los fundamentalistas islámicos en Irán, entonces uno de los principales productores de petróleo, explica el incremento del precio del petróleo en 1978-1979. Este acontecimiento y la posterior guerra Irán-Irak mermó la capacidad de ambos países de explotar los recursos petroleros de que disponían. En términos del modelo precedente, es más adecuado considerar lo anterior como un incremento del coste de extracción de parte de la producción mundial, acompañado por una subida del precio y un nuevo aumento de la producción en el futuro. El descenso del precio de 1986 se ha atribuido generalmente al complejo sistema de restricciones a la producción de la OPEP y a una disminución generalizada de su capacidad para actuar como un verdadero cártel. Una intensa caída del precio no es sino lo que cabría esperar de un acercamiento a un régimen más competitivo (11).

(10) Una explicación alternativa de la subida de precios de 1973-1974 pone el acento en la «seguridad de la propiedad». Mead (1979) señala que la aparición de la OPEP a comienzos de la década de los sesenta coincidió con un cambio en el control sobre las reservas petroleras de Oriente Medio, que pasó de las empresas productoras a los países en los que se hallaban los recursos. Este autor sostiene que este cambio aumentó la seguridad de la propiedad, ya que las multinacionales que controlaban la producción durante los años sesenta habían temido su nacionalización. Gracias a la mayor confianza en su capacidad para beneficiarse de la producción futura, los nuevos propietarios aplicaron a la producción futura tasas de descuento menores. Aplicando la explicación anterior sobre los efectos de las variaciones de los tipos de interés, un descenso del tipo de interés efectivo provocará un brusco aumento del precio y su crecimiento posterior a una tasa inferior, es decir, cualitativamente el mismo resultado previsto en el caso del monopolio.

(11) A lo largo de la década de los sesenta y a comienzos de los ochenta, Arabia Saudí desempeñó un papel central en el mantenimiento de la producción de la OPEP en torno a las cuotas establecidas por el cártel, reduciendo su propia producción cuando se incrementaban las producciones de otros estados miembros. Aparentemente en 1986 abandonó esta política y el mercado mundial del petróleo comenzó a parecer más competitivo. La intensa subida del precio en 1990-1991 se debió a la apropiación iraquí de las reservas de Kuwait y a la guerra que se desencadenó. El modelo de recursos no renovables se ha ampliado en varias direcciones. Una extensión pretende incluir la exploración de nuevas reservas. Otra es introducir la incertidumbre, contemplando bien los precios o descubrimientos futuros. La introducción de la exploración suele proporcionar predicciones que son básicamente coherentes con las presentadas al principio de la sección sobre Dinámica comparativa. Concretamente, véase Deacon (1993) para los resultados de una simulación sobre los efectos de distintas políticas fiscales en la exploración y la producción, y en Pindyck (1978) los resultados sobre el comportamiento del monopolio frente a la extracción competitiva cuando se introduce la exploración. Es más difícil representar los resultados sobre la incertidumbre, debido en parte a las numerosas fuentes de incertidumbre posibles y a que cada una de ellas puede afectar las decisiones económicas de manera diferente. Véase en el capítulo 2 de Fischler (1981) un análisis teórico sobre esta materia.

2.2. Lecciones extraíbles del modelo

El ánimo de lucro constituye un incentivo para que los propietarios de recursos conserven los stocks para su uso por los futuros consumidores, ante la perspectiva de incrementos eventuales de los precios o de los valores unitarios derivados de reducciones de los stocks no renovables. Los resultados de dinámica comparativa antes descritos detallan más esta idea general. Si los usuarios de recursos obtienen un recurso de reserva efectivo –un buen sustitutivo del recurso que esté disponible, con una oferta muy elástica y a un precio lo suficientemente bajo como para ser tenido en cuenta para los consumidores– reaccionarán acelerando la producción y adelantando el agotamiento. En cambio, si se prevé un crecimiento futuro de la demanda, los propietarios tendrán incentivos para reducir el uso de los stocks de recursos hasta que el crecimiento de la demanda se materialice. Si no existen sustitutos aceptables de un determinado recurso, y éste es vital en algún aspecto de la actividad económica, su valor unitario crecerá hasta niveles muy elevados antes de que se produzca el agotamiento. Un efecto de esto es aumentar los beneficios derivados de la investigación e ingeniería dedicados al desarrollo de sustitutos del recurso crucial. Como indican estos ejemplos, los mercados de recursos incorporan incentivos que llevan a los propietarios de recursos y a otros agentes importantes de los mercados de recursos a reaccionar de forma compleja, a las situaciones de escasez.

Una segunda observación se refiere a la relación entre los incentivos de conservación y la «seguridad de la propiedad». La teoría consideraba que los propietarios de recursos estaban seguros de su derecho a usar, en fechas posteriores cualquier stock de recursos no utilizado en el presente. La única reducción de valor asociada con los ingresos futuros procede del descuento de los flujos. Sin embargo, si la propiedad no es segura, el propietario ha de considerar también la probabilidad de perder ese derecho. La inseguridad de la propiedad puede provenir de la explotación de reservas comunes por parte de varios usuarios, como en el caso de los agricultores que extraen agua de riego de pozos perforados en un mismo acuífero. Cada agricultor es consciente de que una parte del volumen de agua conservado en el acuífero para su extracción fu-

tura será probablemente extraída por otro. El efecto de dicha inseguridad es análogo a un incremento del tipo de interés –se estimula el consumo anticipado y se adelanta el agotamiento. En este sentido, la propiedad insegura está en contradicción con la voluntad de conservación.

3. EVIDENCIAS DE ESCASEZ DE RECURSOS

El modelo de recursos no renovables indica la tendencia de los valores de los recursos no renovables a crecer en el tiempo, aunque ésta puede contrarrestarse mediante el descubrimiento de nuevos yacimientos o la reducción de los costes de extracción. Es interesante conocer si nos movemos cerca del límite de un recurso no renovable, lo que podría forzar cambios en los estilos de vida o limitar el crecimiento económico. La mayoría de las evidencias que existen al respecto corresponden a combustibles fósiles y minerales. Aunque a menudo se afirma que la creciente escasez económica afecta a los recursos agrícolas no renovables, no se dispone de los datos necesarios para evaluar las tendencias generales y globales de la escasez de estos recursos. Por tanto, el siguiente análisis se centra en los casos de minerales y combustibles fósiles.

La opinión mayoritaria entre los economistas especializados en recursos naturales es que no está cercana, ni siquiera se vislumbra en el horizonte, una situación de escasez de recursos no renovables tal que limitase el crecimiento económico o alterase drásticamente los estilos de vida. Esta conclusión se desprende tanto del estudio de medidas físicas y económicas sobre la disponibilidad de recursos, como del análisis de las posibilidades de sustitución de recursos no renovables por otros factores susceptibles de producción, para aquellos procesos productivos cruciales.

3.1. Medidas físicas de la abundancia de recursos

Se publican habitualmente dos medidas físicas sobre la abundancia de los recursos. La primera es la de las *reservas probadas*, cantidades de yacimientos conocidos verificadas me-

dian­te muestreo y medida, cuya recuperación es rentable dados los precios y costes de extracción actuales. La segunda medida, más amplia, es la de los *recursos no renovables*, las cantidades de recursos cuya existencia se conoce o se presume con razonable certeza, y cuya recuperación es factible mediante la aplicación de métodos técnicos disponibles en la actualidad.

Hay dos razones por las que la definición de reserva probada es demasiado restringida para servir de medida de los recursos disponibles en última instancia para su uso. En primer lugar, como la exploración y las pruebas necesarias para localizar y cuantificar los yacimientos son muy costosas, los propietarios tienden a retrasar este esfuerzo hasta que se aproxima el período de uso planeado. En segundo lugar, tanto los avances técnicos que reducen los costes como los aumentos de los precios de los recursos hacen que el conjunto de yacimientos que pueden recuperarse de manera rentable se expandan con el tiempo, aun cuando no tengan lugar nuevos hallazgos. Así la aplicación de los precios y de los costes de extracción actuales tiende a la infravaloración de los stocks que eventualmente resultaría rentable explotar. Por estas razones, las reservas probadas son más un inventario que sirve de referencia para la producción a corto plazo, que un límite último. En consonancia con esta interpretación, se observa que las reservas probadas de algunos recursos, p. ej., el petróleo, *crecen* a lo largo del tiempo aun cuando avanza su producción.

La medida de los recursos no renovables incluye los yacimientos conocidos o razonablemente presumidos, que son tecnológicamente posibles de recuperar mediante métodos disponibles. Así pues, la diferencia entre las reservas probadas y los recursos es que en el segundo caso no es necesaria una prueba de rentabilidad, sino que es suficiente con la viabilidad tecnológica. Esta medida más amplia supera normalmente a las reservas probadas en uno o más órdenes de magnitud. Para la mayoría de minerales, los stocks de recursos no renovables conocidos bastarían para satisfacer el consumo actual durante, al menos, 150 años, y en muchos de ellos la cifra es superior a 1.000 años. Por tanto, la simple abundancia física no debe ser un factor limitador del crecimiento económico, al menos durante varias décadas.

3.2. Medidas económicas de la abundancia de recursos

A pesar de todo, las medidas físicas no dicen toda la verdad. Hay partes de depósitos de recursos minerales identificados que tan sólo pueden extraerse incurriendo en costes muy elevados, de forma que su existencia es económicamente irrelevante. Asimismo, si el consumo está creciendo, las ratios elementales reservas/producción sobreestiman la capacidad de atender las necesidades futuras, de las reservas y recursos identificados en la actualidad. Sin embargo, estos factores deberían reflejarse en el comportamiento de los mercados de recursos. Cuando existen varias calidades de recursos, la extracción suele desplazarse con el tiempo de los yacimientos de bajo coste a los de alto coste. Unos costes de extracción en rápido crecimiento indican el agotamiento de los yacimientos de bajo coste y la proximidad de una época en la que habrá de dedicarse a la extracción de mineral partes cada vez mayores de la renta de la sociedad. Barnett y Morse (1963) examinaron los costes de extracción de minerales durante el período 1870-1957. Calculando datos medios para varios recursos no renovables, hallaron una clara tendencia descendente de los costes medidos durante el período. Los costes unitarios de 1957 eran inferiores al 25 por ciento de su valor en el período 1870-1900. Un estudio posterior de Johnson y Bell extendió estas comparaciones a 1970 y descubrieron una tendencia continua descendente. De este modo, de las tendencias de los costes no se desprende que nos acerquemos rápidamente a límites económicos.

Esta circunstancia, puede, sin embargo, considerarse poco concluyente, debido a que el modelo de recursos no renovables predecía que el agotamiento de los stocks de recursos debía ir acompañado de subidas de precios aun cuando los costes de extracción permaneciesen constantes. Ello indica que la evolución de los precios son un indicador más fiable de la escasez. Barnett y Morse (1963) estudiaron las tendencias en relación de los de los precios de los factores no minerales extractivos durante el período 1870-1957. De nuevo, hallaron una tendencia general descendente, que no indicaba ningún aumento acusado de la escasez. Otros investigadores han presentado evidencia más detallada sobre determinados recursos, extendieron el análisis a períodos más recientes y utilizaron

métodos econométricos más avanzados para analizar los datos. Aunque cada autor ha llegado a conclusiones distintas, pueden extraerse algunas consideraciones generales. Hasta aproximadamente 1970, los precios de la mayoría de los recursos no renovables descendieron (12). Durante la década de los setenta, subieron los precios del crudo y de otros recursos energéticos, si bien tal subida se debió fundamentalmente a la aparición de la OPEP más que a una escasez física creciente. Fischer (1981) examinó los precios de siete minerales no combustibles distintos durante los setenta y comprobó que algunos subieron y otros se mantuvieron básicamente constantes, pero ninguno registró una caída significativa. Smith (1979) observó que la evolución descendente de los precios de los minerales se suavizó a medida que se aproximaba la década de los setenta, y que los precios se comportaron de manera estable en los primeros años de dicha década.

Aparte de las posibilidades de sustitución entre minerales, no existe razón alguna para prever movimientos acompasados de la evolución de precios y de los niveles generales de escasez económica. Las diferencias entre sus demandas, los costes de extracción y la abundancia natural deben provocar, por lo general, que cada uno siga una trayectoria de precios diferente. Ello dificulta las generalizaciones sobre las trayectorias de precios realmente observadas. Sin embargo, a finales de los setenta pareció, que en conjunto, podía haber concluido la tendencia de largo plazo descendente de la mayoría de los precios de los minerales.

3.3. Implicaciones

Estos datos indican que los descubrimientos de nuevos yacimientos, los avances técnicos en exploración, extracción y tratamiento, y la sustitución de los factores que se habían vuelto más escasos por otros más abundantes, se combinaron para evitar que la escasez de recursos no renovables se convirtiese en restricción significativa del crecimiento económico, al menos durante la década de los sesenta. Los datos de los setenta y posteriores no son, sin embargo, tan concluyentes, aunque se observaron señales de un posible fin de la época de caídas durante

(12) Véase Barnett y Morse (1963), Nordhaus (1974) y Smith (1979).

largos períodos de los precios de los recursos. Aun siendo esto cierto, no justifica necesariamente una gran inquietud ni nuevas iniciativas políticas en los mercados de recursos. La mayoría de países industrializados no invierten todavía una fracción significativa de sus rentas nacionales en la obtención de recursos no renovables para mantener la producción. Evidentemente, la obtención de petróleo ha suscitado gran inquietud en algunos países industrializados con elevada dependencia energética como Japón, pero los problemas registrados se han debido más bien a la fijación no competitiva de precios y no a aumentos espectaculares de la escasez física. Además, la deplorable experiencia de EE.UU. y algunos otros países industrializados al adoptar políticas para combatir las subidas del precio del petróleo en los setenta debería suscitar nuestra desconfianza hacia las tentativas de los gobiernos para mejorar las asignaciones del mercado en este ámbito. Es indudable que los precios de algunos recursos no renovables crecerán y los de otros descenderán, conforme se alteren a lo largo del tiempo las condiciones que afectan a la oferta y la demanda de la economía. No obstante, estas variaciones no son razón suficiente para evitar las asignaciones realizadas por el mercado. La respuesta a la escasez cambiante es una de las funciones que mejor dominan los mercados. Además, la intervención de los responsables políticos en estas materias distrae la atención de los numerosos efectos medioambientales colaterales del uso de los recursos, siendo éste un campo en el que una política estatal bien diseñada puede beneficiar claramente a la sociedad.

4. CUESTIONES MEDIOAMBIENTALES SOBRE EL USO DE RECURSOS NO RENOVABLES

El uso de recursos no renovables, tanto en las economías agrícolas como industrializadas, provoca una serie de impactos medioambientales (13). Los métodos agrícolas que supo-

(13) Los recursos no renovables más importantes utilizados en la producción agrícola son los suelos y las aguas subterráneas procedentes de depósitos no recargados. Zilberman, Wetzstein y Marra (1993, p. 68) describen una plaga de insectos con características vulnerables a un determinado pesticida como recurso no renovable. Con el tiempo, los insectos pueden desarrollar una mayor resistencia a medida que se utiliza el pesticida, agotando de hecho este valioso «recurso no renovable».

nen un cultivo agresivo del suelo conducen a la erosión y al consiguiente aterramiento de lagos y embalses. El bombeo continuo y la utilización de aguas subterráneas para el riego puede provocar, en algunas situaciones, el anegamiento de los suelos y la reducción de la productividad, al incrementarse las concentraciones de sal.

En las economías industrializadas, las repercusiones más relevantes derivadas del uso de recursos no renovables suelen estar asociadas con los combustibles fósiles. En la fase de extracción, la minería a cielo abierto del carbón superficial y la evacuación de las escorias procedentes de la extracción minera del carbón a profundidad deterioran los paisajes y los ecosistemas terrestres. La extracción de petróleo y gas en el océano y en entornos árticos puede producir la liberación de sustancias químicas asociadas con la explotación de hábitats sensibles. El agua dulce se contamina cuando se produce la lixiviación de ácidos procedentes de pozos mineros o de escorias. El transporte de petróleo puede ocasionar la contaminación de los océanos a consecuencia de vertidos accidentales y deliberados de petroleros, y el proceso y refino del petróleo produce contaminación atmosférica. La combustión realizada por los usuarios finales provoca también importantes daños medioambientales, especialmente corrosión, contaminación atmosférica urbana y problemas respiratorios.

La mayor parte de los ejemplos precedentes localizados, si bien el uso de recursos no renovables también puede tener repercusiones en regiones más extensas. Existen ejemplos como las emisiones transfronterizas de contaminantes atmosféricos en el proceso de generación de electricidad a partir del carbón. La combustión del carbón con contenido en azufre provoca emisiones de óxidos de azufre, que son perjudiciales para la salud humana y forman ácido sulfúrico en contacto con el agua. Estas sustancias suelen atravesar las fronteras nacionales, dando lugar a depósitos ácidos en lagos y cursos de agua de países vecinos. Este es un problema bien documentado en el norte de Europa y en Norteamérica. Los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles pueden dar lugar a la formación de ácidos y ozono, que pueden dañar las cosechas, los bosques, las estructuras y la salud humana en otros países.

A escala mundial, el problema medioambiental que suscita mayor preocupación en la actualidad es la posibilidad de cam-

bio climático, cuyas causas potenciales se encuentran tanto en las economías agrícolas como en las industrializadas. Respecto de las economías industriales la principal inquietud se refiere a la combustión de combustibles fósiles y a las consiguientes emisiones atmosféricas asociadas de dióxido de carbono (14). En las economías agrícolas, la principal fuente de preocupación es la conversión de tierra forestal en terrenos agrícolas y la eliminación de biomasa forestal en busca de carbón. El conjunto de pruebas esgrimidas para sostener el calentamiento mundial sigue suscitando polémica. Las pruebas del calentamiento mundial basadas en las elevaciones de la temperatura del agua del mar, en los gradientes de calor en el interior de la tierra y en el retroceso de los glaciares son sugerentes, pero siguen siendo poco concluyentes debido a que los cambios observados se encuentran dentro de los márgenes de variación que pueden asociarse con fluctuaciones naturales y no antropogénicas. Los modelos utilizados en el estudio del cambio climático son incompletos en aspectos significativos y no se conoce exactamente el papel que desempeñan las nubes, la circulación oceánica y las reacciones de la biota a variaciones en la composición de la atmósfera. Sin embargo, es indudable que, en los últimos años, han crecido sustancialmente las concentraciones atmosféricas mundiales de dióxido de carbono procedentes de la combustión de combustibles fósiles, y existe un consenso generalizado sobre los principales fundamentos físicos del efecto invernadero, a saber, que las mayores concentraciones de dióxido de carbono y de otros gases responsables de dicho efecto calentarán la atmósfera terrestre. Dicho en términos más generales, el calentamiento mundial y el cambio climático mundial conducirían a elevaciones del nivel del mar, a diversas alteraciones de las pautas climáticas en diferentes regiones y a un complejo abanico de costes y beneficios medioambientales para diferentes regiones. Claramente, no puede negarse la posibilidad de que algunas regiones se beneficien. Sin embargo, las incertidumbres sobre lo que no es sino un experimento mal comprendido sobre química atmosférica indican que el cambio climático es algo que debe evitarse más que desearse.

(14) Este análisis se basa, en gran medida, en el capítulo 11 de World Resources Institute (1994).

4.1. Política medioambiental en materia de extracción de recursos no renovables

Cuando el uso de un recurso no renovable produce efectos medioambientales colaterales no deseados, el usuario del recurso está efectivamente eludiendo parte del coste de su utilización. Cuando la erosión del suelo derivada de la explotación agrícola aumenta las concentraciones de sedimentos en los cursos de agua, se pierde parte del flujo de servicios de ese curso de agua, como la previsión de un hábitat a los peces, de ocio o de agua potable. De hecho, el agricultor responsable del cultivo detrae estos servicios a la sociedad sin soportar el coste, es decir, el valor perdido de hábitat, ocio y agua. Otros factores utilizados por el agricultor, como la mano de obra y la maquinaria, también tienen usos alternativos, pero el que estos factores se intercambien en mercados garantiza que los valores de estos usos alternativos se contemplen en las decisiones del agricultor. Por ejemplo, los trabajadores agrícolas han de recibir un salario, como mínimo, idéntico al que obtendrían en otro puesto igualmente deseable o buscarán un puesto de trabajo alternativo, y la oferta de salario que el agricultor hace por obtener sus servicios reconoce e incorpora en los precios aplicados a los productos agrícolas el valor de los bienes que podría generar su trabajo en otro puesto.

La diferencia fundamental entre los trabajadores y el curso del agua, que conduce a la consideración de los costes en un caso y no en el otro, es la naturaleza pública y de libre acceso de los cursos de agua y de otros recursos medioambientales. Por lo general, no existe un propietario fácilmente identificable que posea el derecho legal y el incentivo para exigir compensación cuando las actuaciones de otros impidan determinados usos de un recurso medioambiental. Si se obligase al agricultor a pagar una suma equivalente al valor recreativo perdido para obtener el derecho a desarrollar actividades que provocan que el suelo erosionado vaya a parar a los cursos de agua, entonces este pago, que refleja el coste de sedimentación del curso del agua, engrosaría el coste de ejercicio de la actividad agrícola, de manera similar al coste laboral. Se induciría al agricultor a aplicar aquellos métodos productivos que minimizasen la erosión. Se elevarían los costes agrícolas, eliminando la rentabilidad del cultivo de tierras marginales o pró-

ximas a cursos de agua especialmente sensibles. Con unos precios superiores, se estimularía a los consumidores a buscar productos sustitutivos de las cosechas cultivadas por el agricultor. Es indudable que persistiría alguna contaminación, pero únicamente cuando el coste impuesto por la contaminación a las personas que realicen actividades de ocio y a otras se viese compensado con creces por el valor del producto resultante.

Por norma general, el mercado no impone tasas al uso de dichos recursos medioambientales públicos. No obstante, aun así es posible provocar cambios equivalentes en el comportamiento de los agricultores. La teoría económica de la política medioambiental ha identificado dos instrumentos que pueden cumplir esta función. El primero es una tasa *sobre la contaminación*, denominada a veces impuesto sobre la contaminación. Se trata de una tasa que debe pagar el agente contaminante por cada unidad de suelo erosionado o por cualquier residuo evacuado al curso de agua, de manera que el importe de la tasa se fija de manera que iguale el valor recreativo, de hábitat y otros usos del curso de agua imposibilitados por la emisión contaminante. La tarea de calcular el nivel adecuado de dichas tasas y su aplicación queda generalmente en manos del gobierno. Una vez aplicadas, dichas tasas obligan efectivamente a las empresas a compensar y superar el valor que pierden las personas que realizan actividades de ocio cuando se producen vertidos al curso de agua. A su vez, esto trae consigo esfuerzos encaminados a la reducción de la contaminación, el traslado de terrenos agrícolas y lugares alternativos y la sustitución de productos por parte de los consumidores. En el caso de la erosión derivada del cultivo, no es posible medir día a día el nivel exacto de erosión resultante de una determinada explotación agrícola. En este caso, el gravamen puede basarse en el método de cultivo utilizado, y establecerse adecuadamente de modo que refleje las diferencias entre los grados de erosión de métodos alternativos.

Una medida de política equivalente es el *permiso transmisible de contaminación*. Esta política fija, en primer lugar, un nivel adecuado de contaminación global, basado en una comparación del daño que la contaminación impone y de los costes del control de la contaminación. A continuación, se expiden permisos de emisiones hasta el límite autorizado y se obliga a las empresas que deseen emitir una unidad de residuo en el

curso de agua a ofrecer dinero por un permiso para hacerlo. El precio del permiso resultante afecta a la empresa exactamente igual que un impuesto.

Estas políticas elevan el coste que tiene para la empresa la utilización del recurso no renovable causante de la contaminación, p. ej., las aguas subterráneas utilizadas en el riego o el suelo usado para el cultivo de cosechas en las economías agrícolas. El efecto resultante del uso del recurso no renovable a lo largo del tiempo viene determinado por la condición de equilibrio antes descrita. Cuando se impone una tasa por contaminación (F^e) para cada unidad de recurso utilizada, sea en forma de tasa sobre la contaminación o como precio del permiso de contaminación, la condición de equilibrio pasa a ser:

$$P^e(t) = C + F^e + M_0^e e^{rt} \quad [3]$$

en la que se ha añadido el superíndice e al precio del producto y al precio del stock del recurso para indicar que sus valores variarán con la imposición de la tasa. Puede utilizarse el análisis presentado anteriormente para determinar los efectos cualitativos de esta política en el uso del recurso a lo largo del tiempo. Sin embargo, a la hora de examinar estos efectos es necesario distinguir entre los impactos medioambientales determinados por *flujos* de emisiones y los *stocks* acumulados de contaminantes.

4.2. Políticas medioambientales para flujos de contaminantes

Un impacto medioambiental recibe el nombre de impacto de flujo si el daño causado no depende de la acumulación de emisiones en el tiempo, los contaminantes de flujo son transitorios, y proceden de sustancias que se degradan o diluyen con bastante rapidez. Si el flujo de contaminantes cesa, los daños causados desaparecen con bastante rapidez (15). En el caso de los contaminantes flujo, la tasa sobre la contamina-

(15) Evidentemente, la expresión «con bastante rapidez» tiene carácter subjetivo. De hecho, todos los contaminantes se acumulan en cierta medida y el concepto de flujo se adoptó principalmente porque simplifica el análisis. Por cuestiones prácticas, en el caso de contaminantes con vidas medias del orden de un año o inferior, parece oportuna la ventaja que ofrece esta simplificación.

ción apropiada será a menudo, constante en el tiempo, y en este caso su efecto sobre el uso de los recursos no renovables es directo (16). En el momento de establecerse el impuesto, se producirá una intensa caída inicial de la tasa de utilización del recurso, seguida de descensos más moderados de la tasa de utilización de los que se producirían si el impuesto no existiera. Si el producto tiene una calidad homogénea, la extracción se extenderá durante un período superior al resultante sin el impuesto, por lo que la fecha de agotamiento final del recurso se retrasa. Si el recurso no es homogéneo, normalmente tendrá lugar un cambio en el uso de determinados stocks, p. ej., en los tipos concretos de suelos cultivados. Se utilizarían en primer lugar los que combinen productividades elevadas y costes medioambientales reducidos, utilizándose el resto por orden una vez que se agoten los más atractivos. Asimismo, aumenta el coste global de la totalidad de los stocks, lo que supone que en algunos stocks que se hubieran utilizado de no aplicarse esta política ahora no se abandonarían. Por ejemplo, podría utilizarse suelos que: (i) presenten escasa rentabilidad, p. ej., debido al pobre contenido en nutrientes o a las largas distancias respecto de los mercados, e (ii) impongan elevados costes medioambientales, p. ej., debido a que se encuentran en hábitats sensibles o que se erosionan fácilmente (17).

4.3. Políticas medioambientales para contaminantes stock

Un contaminante stock es una sustancia que, una vez emitida, ocasiona daños medioambientales durante un período

(16) Esta afirmación es literalmente correcta si no cambia con el tiempo el daño medioambiental causado por una unidad marginal de emisión de residuo. Ello sería cierto, a su vez, si se mantuviese estacionaria la función de daño y si permaneciese inalterado el perjuicio medioambiental causado por una unidad de emisión de residuos.

(17) Este análisis puede extenderse en varias direcciones. Una está relacionada con el comportamiento probable de la tasa medioambiental en el tiempo. El modelo básico de extracción implica que el precio del producto extraído aumentará a lo largo del tiempo, por lo que la tasa de extracción y la tasa de emisiones descenderán con el tiempo. Si los daños medioambientales marginales aumentan con la tasa de contaminación, ello implica que el daño marginal provocado por una unidad de contaminación, y la tasa medioambiental óptima, descenderán a lo largo del tiempo a medida que se aproxime el agotamiento los yacimientos del recurso. Ello tiene por efecto trasladar el uso del recurso aún más hacia el futuro que en el caso de una tasa constante.

significativo (18). Un importante ejemplo en la agricultura es el del DDT, que posee una vida media en el medio ambiente de 10 años o superior. El contaminante stock estudiado actualmente en mayor profundidad es el dióxido de carbono, un gas responsable del efecto invernadero. De nuevo, la política adecuada consiste en gravar los agentes contaminantes con una tasa equivalente al daño medioambiental causado por su emisión. Sin embargo, debe tenerse en cuenta la persistencia del daño.

Supongamos que el contaminante examinado sea el DDT. Dado que una unidad permanecerá en el medio ambiente durante un período prolongado de tiempo, a la hora de calcular la correspondiente tasa debe evaluarse el valor de los daños futuros que ocasiona. Al realizarse esta evaluación deben tenerse en cuenta dos consideraciones. En primer lugar, dado que estos costes se producen en el futuro, deben descontarse aplicando el correspondiente tipo de interés r . En segundo lugar, dado que el DDT se descompone en la atmósfera, sus efectos disminuyen con el tiempo. La última consideración puede incorporarse asumiendo una descomposición proporcional, o «radioactiva», designada en nuestro ejemplo por δ . De manera intuitiva, el valor actual de los daños futuros causados por una unidad de DDT se calcula descontando el daño anual en años futuros mediante un tipo de interés que sea la suma de r y δ . La tasa obtenida para corregir la emisión del contaminante depende, por tanto, de tres factores. Depende directamente del daño anual causado por una unidad de contaminante, inversamente de la tasa de descomposición, e inversamente del tipo de interés.

Un análisis más exhaustivo pondría de manifiesto que la tasa adecuada variará normalmente a lo largo del tiempo. Esta variación puede explicarse intuitivamente en un caso sencillo: cuando la función de coste medioambiental marginal es estacionaria y la tasa de descomposición es nula, con lo que una vez emitida la sustancia ocasionará daño indefinidamente. En este caso, no puede descender el stock de contaminante, y aumentará necesariamente si se producen nuevas emisiones. Si suponemos que los daños marginales de la contaminación au-

(18) El siguiente análisis se basa en Kolstad y Krautkraemer (1993).

mentan a medida que hace lo propio la concentración del contaminante en la atmósfera, la tasa óptima debe crecer de manera constante a lo largo del tiempo. Ello es cierto debido a que cada unidad adicional del contaminante impone un coste medio ambiental expresado por su valor actual mayor que el ocasionado por la unidad anterior (19).

5. CONCLUSIONES

La economía ofrece un marco útil para el análisis de los recursos no renovables, para la exploración del significado que tiene para la sociedad su escasez intrínseca y para el estudio de las interrelaciones con el medio ambiente. La economía puede fomentar el estudio del modo en que reaccionan los mercados ante oscilaciones de la escasez, estimulando la conservación, sustitución, innovación y búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento, y puede ayudar a los responsables políticos a entender las causas de las variaciones en los precios de los recursos. Idéntica importancia tiene el hecho de que la economía puede facilitar la identificación de importantes problemas medioambientales causados con frecuencia por el uso de recursos no renovables, y contribuir al diseño de políticas dirigidas a combatir estos problemas.

A pesar de varias décadas de estudio y de avances significativos tanto en la teoría de la política medioambiental como en nuestro conocimiento de los factores empíricos relevantes, la situación de la política estadounidense en materia de control de la contaminación y del uso de recursos no renovables dista mucho de ser perfecta. Hasta fechas recientes, la política estadounidense de contaminación atmosférica y del agua ha ignorado los principios elementales del diseño de políticas. Las sociedades de todo el mundo están actualmente mostrando más interés que nunca por la calidad del medio ambiente. Al mismo tiempo, el crecimiento demográfico y el rápido avance tecnológico están haciendo que la labor de protección del medio ambiente sea cada vez más compleja y de mayor alcan-

(19) Como señalan Zilberman y Marra (1993, p. 249), el endurecimiento gradual de la normativa medioambiental impuesta sobre numerosos responsables de pesticidas agrícolas es cualitativamente coherente con esta afirmación.

ce. Como consecuencia de las mayores necesidades de protección medioambiental y del continuo crecimiento de la contaminación, parece inevitable que la labor de protección del medio ambiente exija una parte cada vez mayor de la renta mundial. Por tanto, el beneficio derivado del uso de políticas medioambientales mejor diseñadas, políticas que hagan uso de las recientes inversiones sobre la economía de los recursos naturales y del medio ambiente, es grande y cada vez mayor. □

BIBLIOGRAFÍA

- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (1987): *Basic Petroleum Data Book*, Washington: American Petroleum Intitute, Third Quarter 1987.
- BARNETT, H. J. y CHANDLER, M. (1963): *Scarcity and Growth: The Economics of Natural Resources Scarcity*. Baltimore: Johns Hopkins Press.
- DASGUPTA, P. y HEAL, G. (1979): *Economic Theory and Exhaustive Resources*, Cambridge: Cambridge University Press.
- DEACON, R. T. (1993): «Taxation, depletion and welfare: A simulation model of the U.S. Petroleum Resource». *Journal of Environmental Economics and Management*, n.º 24: pp. 159-187.
- FISCHER, A. C. (1981): *Environmental and Resource Economics*, Cambridge: Cambridge University Press.
- GRIFFIN, J. M. y STEELE, H. B. (1986): *Energy Economics and Policy*, Second Edition, New York: Academic Press.
- JOHNSON, M. H. y BELL, F. W. (1978): «Resources and Scarcity: Are there limits to growth?» Unpublished manuscript, Department of Economics, George Mason University.
- KOLSTAD, Ch. D. y KRAUTKRAEMER, J. A. (1993): «Natural resource use and the environment», in A. V. Kneese y J. L. Sweeney, eds., *Handbook of natural resource and energy economics*, vol. III, Elsevier Science Publishers B.V.
- MEAD, W. J. (1979): «The performance of government energy regulation», *American Economic Review*, may. 1979.
- MIRANOWSKI, J. A. y CARLSON, G. A. (1993): «Agricultural and resource economic. An overview», in G. A. Carlson, D. Zilberman y J. A. Miranowski, eds. *Agricultural and environmental resource economics*. New York: Oxford University Press, 1993.

- NORDHAUS, W. D. (1974): «Resources as a constraint on growth», *American Economic Review*, n.º 64: pp. 22-6.
- PINDYCK, R. S. (1978): «Optimal exploration and production of a nonrenewable resource», *Journal of Political Economy*, n.º 86: pp. 841-62.
- SMITH, V. L. (1975): «The primitive hunter culture, pleistocene extinction, and the rise of agriculture», *Journal of Political Economy*, n.º 83: pp. 727-55.
- SMITH, V. K. (1979): «Natural resource scarcity: A statistical analysis», *Review of Economics and Statistics*, n.º 61: pp. 423-7.
- WORLD RESOURCES INSTITUTE (1994): *World Resources 1994-95: A guide to the global environment*. Published in collaboration with the United Nations Environment Programme and the United Nations Development Programme, New York: Oxford University Press.
- ZILBERMAN, D.; WETZTEIN, M. y MARRA, M. (1993): «The economics of nonrenewable and renewable resources», in G. A. Carlson, D. Zilberman y J. A. Miranowski, eds. *Agricultural and Environmental Resource Economics*. New York: Oxford University Press, 1993.
- ZILBERMAN, D. y MARRA, M. (1993): «Agricultural externalities», in G. A. Carlson, D. Zilberman y J. A. Miranowski, eds. *Agricultural and Environmental Resource Economics*. New York: Oxford University Press, 1993.

RESUMEN

Los recursos no renovables y el medio ambiente

Un recurso es no renovable si su stock es fijo o si se regenera por medios naturales a tasas demasiado lentas para ser relevantes en la toma de decisiones de las personas. Algunos ejemplos son los suelos, las aguas subterráneas procedentes de acuíferos que no se recargan por medios naturales o los combustibles fósiles. Dado que el volumen total de dichos recursos a consumir por la sociedad en el presente y el futuro es fijo, el consumo en algún momento disminuirá. Ello suscita algunos interrogantes importantes. ¿Cómo asignan los mercados los recursos no renovables entre el presente y el futuro? ¿Cómo se ven afectadas las asignaciones del mercado por la abundancia

natural de recurso, el grado de competencia y por la disponibilidad de recursos renovables sustitutivos? ¿La posible e inevitable reducción de los stocks de recursos no renovables limitará seriamente el bienestar económico de las generaciones futuras? Un conjunto diferente de cuestiones surge en relación al hecho de que el uso de recursos no renovables afecta a la calidad del entorno medioambiental. El alcance geográfico de estos impactos abarca desde efectos locales como el caso de la contaminación del agua derivada de la erosión del suelo agrícola hasta efectos globales como la acumulación de gases responsables del efecto invernadero a consecuencia de la conversión de bosques en tierras de cultivo y pastos. La reciente investigación económica ha contribuido a mejorar la comprensión de estas cuestiones y ha sugerido respuestas para al menos algunos de los interrogantes planteados.

PALABRAS CLAVE: Economía de los recursos naturales, recursos no renovables, economía ambiental.

RÉSUMÉ

Les ressources non renouvelables et l'environnement

38

Une ressource est non renouvelable quand son stock est fixe ou si elle se régénère par des moyens naturels selon un taux excessivement lent qui ne peut pas être pris en compte dans le processus de prise de décision par les personnes. Citons à titre d'exemples les sols, les eaux souterraines provenant de nappes aquifères ne se rechargeant pas par des moyens naturels ou les combustibles fossiles.

Le volume total de ces ressources que la société va consommer dans le présent et à l'avenir est fixe, en raison de quoi la consommation devra bien diminuer à un moment donné, ce qui ne manque pas de poser un certain nombre de questions importantes. Comment les marchés assignent-ils les ressources non renouvelables entre le présent et le futur? Comment sont affectées les assignations du marché par l'abondance naturelle des ressources, par le niveau de concurrence et par la disponibilité des ressources renouvelables de remplacement? La future et inévitable réduction des stocks des ressources non renouvelables va-t-elle limiter sérieusement le bien-être économique des générations futures?

Un certain nombre de questions de nature différente se pose en rapport avec le fait que l'utilisation des ressources non renouvelables affecte la qualité de l'environnement. La portée géographique de ces impacts comprend des simples effets locaux, par exemple la pollution de l'eau dérivée de l'érosion du sol agricole, aux effets globaux, dont l'accumulation de gaz responsables de l'effet serre à la suite de la transformation des forêts en pâturages et en terres cultivées. La recherche économique récente a contribué à améliorer la compréhension de ces questions et a permis de proposer des réponses à au moins quelques-unes d'entre elles.

MOTS CLÉF: Économie des ressources naturelles, ressources non renouvelables, économie environnementale.

SUMMARY

Non-renewable resources and the environment

Resources are non-renewable if there is a fixed stock of them or if they are rebuilt by natural processes at a rate which is too slow to be relevant for decision-making by individuals. Some examples include: the soil, ground water from aquifers which are not replenished naturally, or fossil fuels.

Given that there is a fixed total volume of such resources available for consumption by society at present and in the future, such consumption is bound to fall off eventually. That raises some significant questions. How do the markets assign non-renewable resources between the present and the future? How is assignment by the markets influenced by the natural abundance of resources, the level of competition and the availability of substitute renewable resources? Will the possible or inevitable decline in the stocks of non-renewable resources seriously restrict the economic wellbeing of future generations?

A different set of questions arise from the fact that the use of non-renewable resources affects the quality of the environment. The geographical scope of such impacts ranges from local effects, such as water pollution resulting from the erosion of farmland, to global effects such as the build-up of gases responsible for the greenhouse effect as a result of forests being cleared for growing crops and grazing livestock.

Recent economic research has helped to gain a better understanding of these issues and has suggested ways of responding to at least some of them.

KEYWORDS: Economics of natural resources, non-renewable resources, environmental economics.