

EXPLOTACION Y AGOTAMIENTO DE RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES*

ORLANDO A. REOS**

Depto. de Cooperación Técnica
para el Desarrollo
P.N.U.D.

Abstract:

In this work I establish an analytical framework where to analyze the main elements in guiding allocation of resources when exhaustible natural resources are present. With this in mind, I examine several options to recognize, from an economic point of view, when a natural resource is virtually exhausted. It is clear at the end that more empirical studies in various markets are necessary.

A. Introducción

La explotación de los recursos naturales ha merecido desde el comienzo del desarrollo de la economía como disciplina científica una atención especial. Particularmente, la preocupación por el agotamiento de algunos de ellos o de la capacidad productiva de la tierra apareció ya en autores clásicos como Malthus y Jevons.

El primer economista moderno que le dio un tratamiento riguroso al tema, especialmente en cuanto se refiere a su dimensión temporal, fue H. Hotelling (1931), quien escribió un artículo clásico sobre los recursos agotables. Estableció en esa oportunidad algunos resultados que han guiado el análisis hasta el presente.

Sin embargo, un mayor énfasis en el riesgo de agotamiento de los recursos se presentó a partir de los primeros años de la década del '70. Tanto debido a la publicación del estudio del Club de Roma (Meadows *et al.*, 1972) sobre los límites del crecimiento como

* Este trabajo fue preparado para una sesión especial del Encuentro Anual de Economistas de Chile, realizado el 1 y 2 de diciembre de 1988, en Punta de Talca.

** Al momento de escribir el presente artículo, me desempeñaba como Asesor Técnico Principal del Proyecto UN CH/85/001 del PNUD. Las opiniones vertidas no deben ser atribuidas a Naciones Unidas ni a ninguno de sus organismos.

a la crisis energética en 1973 se avivó el interés de economistas profesionales y de responsables de política en los temas de energía y de recursos agotables. Además, especialmente en materia de ciertos recursos críticos como petróleo, gas o uranio, las discusiones están en general cargadas de sensibilidad política e ideológica. Por ello resulta no sólo de interés académico, sino muy importante para la toma de decisiones el conocimiento de relaciones analíticas y empíricas que iluminen tales decisiones desde un punto de vista económico.

Varios son los temas más destacados en cuanto a aquella problemática. Probablemente uno de los aspectos centrales es el de definir cuánto debe extraerse en el presente y cuánto debe mantenerse en los yacimientos para su extracción futura. Asimismo esto se vincula con el horizonte que se vislumbra para los yacimientos y la distribución entre generaciones de los costos y beneficios de la explotación. Además existe el problema de la organización del mercado del producto, es decir, los efectos que sobre la utilización de factores y rapidez de agotamiento tienen alternativamente estructuras competitivas o monopolísticas.

La importancia del eventual agotamiento de un recurso sobre las posibilidades productivas y el bienestar de la sociedad es otro tema de mucho interés teórico y también práctico. Por otra parte la definición misma acerca de cómo debe medirse la escasez de los recursos naturales es un aspecto sobre el cual ha habido debate académico.

Algunos de los temas anteriores se desarrollan en las siguientes secciones. El objetivo del trabajo es establecer un esquema de análisis donde se destaquen los elementos fundamentales que guían la asignación de recursos para la explotación de recursos naturales no renovables. Asimismo, sobre la base de ese esquema se presentan varias opciones en cuanto a cómo reconocer desde el punto de vista económico el eventual agotamiento de un recurso. Dado que no existe una respuesta única a esa cuestión, se desprende que es necesario disponer de mayores antecedentes teóricos, pero especialmente mayor número de estudios empíricos en diversos mercados de recursos naturales para obtener conclusiones valederas.

B. Utilización intertemporal de un recurso agotable

Tal como se indica en la Introducción, uno de los temas centrales de este trabajo se refiere a la asignación intertemporal de recursos naturales y en particular de los recursos agotables.

La presentación se inicia con algunos conceptos sencillos y luego se continúa con una complejidad algo mayor. En un principio se analizarán algunos aspectos elementales acerca de la asignación socialmente óptima de recursos naturales. El enfoque gráfico permite fijar algunas ideas simples, aunque básicas, para el enfoque posterior (McLennan, 1976). Luego se incluyen algunos desarrollos más rigurosos en la medida que lo exigen los temas a tratar.

Los recursos naturales llamados "agotables" presentan características y plantean interrogantes muy importantes en el ámbito de la asignación intertemporal de recursos económicos. Una de esas características consiste en que la extracción y utilización en el presente de una unidad del recurso en cuestión significa paralelamente la disminución del stock total disponible para el futuro en exactamente esa magnitud.

1. Supuestos básicos

Las hipótesis simplificadoras que se establecerán a continuación se modificarán en secciones siguientes en la medida de lo necesario.

Se supone que el problema consiste en la utilización de un cierto recurso natural agotable tomando en cuenta criterios de asignación óptima desde el punto de vista social.

Aun cuando no se especifica un recurso en particular, como petróleo o gas, para un mejor entendimiento de los problemas a tratar se considerarán algunos casos especiales a modo de ejemplo.

El stock disponible debe utilizarse a lo largo de un cierto horizonte de planeamiento. Más allá de este límite la sociedad no guarda ningún interés en el recurso. Esto significa que el total disponible podría ser agotado en el momento en que finaliza este horizonte de planeamiento. Aunque generalmente nunca las sociedades hacen explícita la fecha futura de agotamiento de un recurso, las decisiones de producción y consumo tácitamente reflejan alguna.

Como simplificación inicial se supone también que se pueden distinguir dos períodos, el presente y el futuro (hoy y mañana). Se representarían dichos períodos con los índices t_0 y t_1 , respectivamente. Este esquema permite captar adecuadamente la esencia de los problemas multiperiódicos.

Se supone, además, que se conocen las demandas sociales por el recurso, tanto en el presente como en el futuro. En consecuencia, se suponen conocidas las preferencias intertemporales de la sociedad respecto del uso y la conservación del recurso. Nótese que no se trata necesariamente de las demandas del mercado, aunque esta podría ser una buena aproximación. Más bien, dado que se busca identificar un equilibrio social intertemporal, se trata de los beneficios sociales marginales derivados del uso del recurso en el presente y en el futuro. En ausencia de efectos externos o secundarios la demanda de mercado reflejaría correctamente los beneficios sociales marginales.

Se suponen también conocidos los costos de extracción del recurso, incluyendo en ellos los que se incurren desde su estado original hasta su utilización, tanto presente como futuro. Ello significa que también existe una idea definida acerca de los cambios tecnológicos esperados para el futuro que podrían afectar los costos de producción.

Aunque los diversos usos alternativos del recurso en un mismo período pueden plantear un problema relevante, por el momento ello no es motivo de interés. Esto puede interpretarse en el sentido de que existe un único uso en cada período, por ejemplo, consumo, o que las correspondientes curvas de demanda representarían ya una ponderación entre todos los usos competitivos del recurso en cada período.

2. Beneficios y costos de la utilización de los recursos

De acuerdo a lo indicado anteriormente como supuesto básico, se conocen las demandas sociales del presente y del futuro. Estas demandas representarían los beneficios sociales marginales derivados del uso del recurso en el respectivo período.

Estos beneficios sociales marginales pueden provenir del consumo directo o del uso del recurso como insumo intermedio en la producción. En todo caso se supone que las curvas de demanda tienen las características normales, es decir, son funciones decrecientes del precio en cada período.

Desde el punto de vista de la oferta, la situación es bastante más compleja. Dado que la disponibilidad total del recurso, para su uso en el presente y en el futuro, está dada por

un stock fijo, éste indica la máxima cantidad de la que se puede disponer para ser distribuida entre ambos periodos.

Es muy importante determinar la función de oferta del recurso en cada período. Dicha función se corresponde con el costo marginal que soporta la sociedad para disponer de diferentes cantidades ofrecidas en cada período. Este costo marginal social tiene dos componentes.

En primer lugar está el costo marginal de "extracción" del recurso. Si bien el recurso natural no necesita ser "fabricado" o "elaborado", debe ser extraído de sus yacimientos, lo cual supone que se requieren combinaciones de otros factores que se utilizan en la extracción, por ejemplo, capital y trabajo. Se puede suponer asimismo que dicha extracción está sujeta a condiciones de rendimientos decrecientes de los factores productivos involucrados en el sentido de que para extraer mayores cantidades del recurso natural, a medida que los yacimientos se van agotando, los costos de producción son mayores. Esto puede deberse a que el agotamiento de los stocks exige cada vez mayores cantidades de insumo por unidad de producto extraído, o bien a que la ley de los yacimientos del recurso disminuye, de forma que inicialmente se explotan los mejores depósitos y posteriormente se incorporan los de menor rendimiento.

En segundo lugar, el otro componente del costo marginal social u oferta social del recurso es un elemento que es distintivo y propio de los recursos naturales. Se trata del costo de oportunidad asociado al uso presente del mismo en detrimento de su uso futuro. Dado que se trata de un stock fijo y determinado, toda unidad consumida hoy trae como consecuencia inevitable una disminución de las posibilidades de consumo futuro en exactamente esa unidad. Así, el consumo de una tonelada de carbón en el presente supone la reducción de las disponibilidades, o sea, el stock restante para el futuro, también de una tonelada.

Esta disminución del stock disponible implica un costo para la sociedad equivalente al valor de lo que no podrá consumirse en el futuro. Este se ha dado en llamar el costo de oportunidad del uso presente o también el costo de uso del recurso en el presente (en t_0).

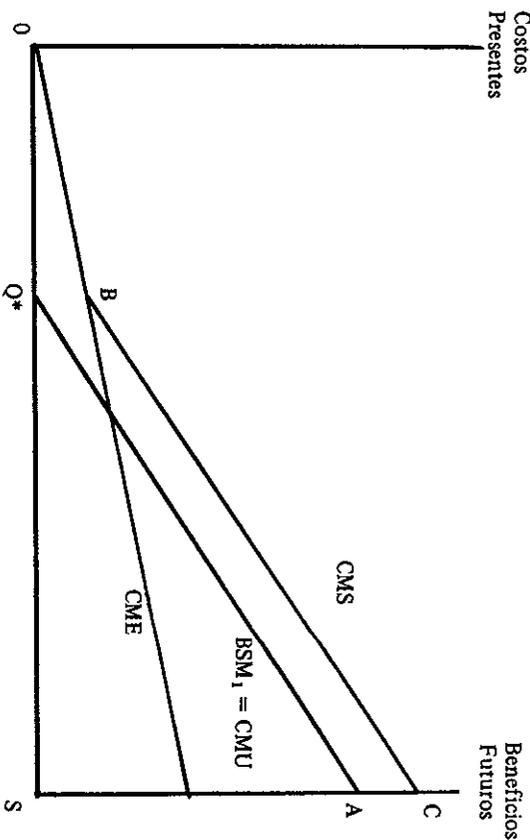
Resulta claro, entonces, que la utilización en el presente de unidades que excedan una cierta cantidad impone a las generaciones futuras un sacrificio cada vez mayor y esto debe reflejarse en un costo de uso creciente.

La Figura 1 se utiliza para facilitar la explicación de este concepto.

Sea la curva BSM₁ que representa el valor descontado de los beneficios sociales marginales (netos de costos) provenientes del uso del recurso en el período t_1 . Dichos beneficios se refieren a la utilización de cantidades que se miden a partir de la derecha hacia la izquierda, en forma inversa a lo convencional. En la Figura 1 el eje de abscisas mide de izquierda a derecha el consumo en t_0 , siendo OS la cantidad total del recurso natural, o sea, el stock máximo disponible. La cantidad OQ* representa la máxima utilización en el presente que no impone costos adicionales a las generaciones futuras. Por lo tanto, en ese tramo el eje horizontal las unidades del recurso consumidas en el presente no imponen ningún costo de uso, ya que en el futuro no se generarían beneficios sociales por su consumo.

Cuando la cantidad disponible para el uso futuro se reduce a Q*S la misma alcanza para satisfacer exactamente el máximo nivel de demanda futura. Por lo tanto, las cantidades adicionales consumidas en el presente por encima de OQ* exigen sacrificar consumos futuros que tendrían beneficios sociales netos positivos.

FIGURA 1



De tal forma el costo marginal de uso del recurso en t_0 (CMU) es nulo en el intervalo OQ* y es positivo e igual al valor descontado de BSM₁ para el tramo O*Q.

En la misma Figura 1 se representa el costo marginal de extracción mediante la curva CME que se supone creciente a una cierta tasa constante (para simplificar) a partir del origen de coordenadas.

Por lo tanto, el costo marginal social total (CMS) de usar el recurso natural en el presente (t_0) es la suma del costo marginal de extracción más el costo marginal de uso para cada nivel de utilización. Esta función está representada en la Figura 1 por la línea quebrada OBC.

3. Uso óptimo del recurso

Los criterios habituales de optimización en la asignación de recursos entre usos alternativos exigen como regla que los beneficios marginales netos sean iguales para todos esos usos. De manera equivalente, los máximos beneficios netos para la sociedad se obtendrán cuando los beneficios marginales sean iguales a los costos marginales de la asignación del recurso de que se trate.

Este criterio aplicado a la asignación de una cierta cantidad del recurso natural al presente y al resto al futuro exige también que los beneficios marginales sociales sean iguales a los costos marginales sociales.

Dado que los beneficios se suponen decrecientes con el nivel de uso, la regla indicada asegura que el consumo —o extracción— del recurso en una unidad adicional a la de equilibrio provocará una disminución del beneficio neto total a raíz de que el aumento del costo es mayor que el incremento de los beneficios. Asimismo el consumo de una unidad menos que la de equilibrio también provoca una disminución de los beneficios netos, ya

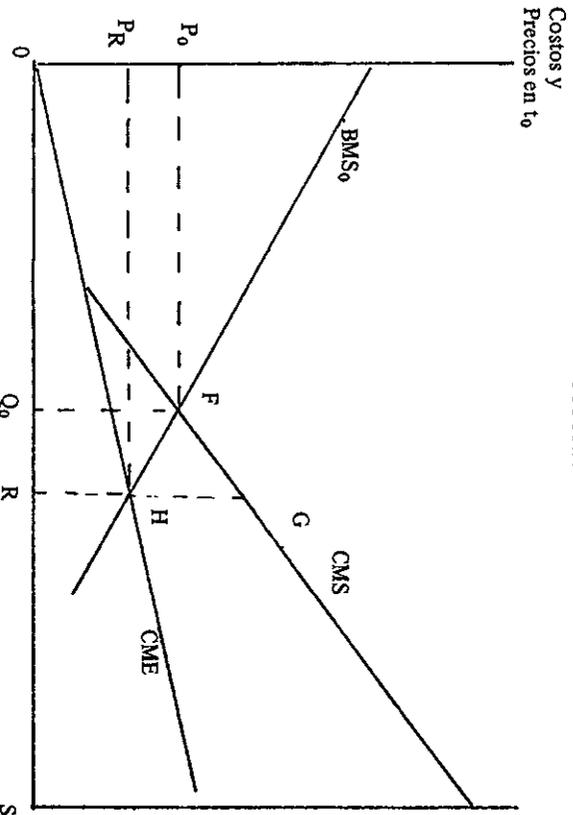
que en tal caso hay una disminución de beneficios mayor que la reducción asociada de costos.

En la Figura 2 se puede observar el equilibrio entre el costo marginal social (CMS) y el beneficio marginal social del consumo en el período t_0 (BMS_0) que determina una utilización actual de OQ_0 y una utilización futura de OQ_0S con un precio presente del recurso de P_0 .

Si no se tomara en cuenta en el período t_0 el costo marginal de uso, la asignación estaría definida por la condición de ser el beneficio marginal social igual al costo marginal de extracción. Esto llevaría a una asignación de BR en t_0 y RS en el futuro (el saldo de stock no usado hoy). Ello implicaría una situación de sobreutilización presente del recurso, desde el punto de vista intertemporal.

La razón de esta sobreutilización debe encontrarse en el hecho de que al no considerarse el costo de uso se estaría fallando en reconocer una externalidad que surge del uso de recursos con stock fijo. Ella radica en que al utilizar hoy cantidades mayores a OQ^* de la Figura 1 se impone una restricción a la disponibilidad futura del producto del que se trate. El precio más bajo que se fijaría en una condición como esa, P , estimularía la sobreexplotación del recurso. Desde el punto de vista de la sociedad, el área O_0FHR representa el valor social que debe atribuirse a un consumo adicional O_0R en el presente, mientras que el área O_0FGR representa los costos totales incurridos para alcanzar dicho consumo adicional. Estos últimos incluyen el valor de los insumos necesarios para la extracción del recurso natural en el presente más el valor social del consumo impedido al futuro. La diferencia entre ambas áreas indicadas, es decir, FGH , es un costo social neto impuesto a la sociedad y soportado por la generación futura. Por tal razón puede hablarse de una sobreexplotación presente del recurso agotable.

FIGURA 2



A partir de esta introducción elemental se pueden considerar con mayor detalle algunos casos especiales que ayudarán a reconocer situaciones de la realidad.

Sin embargo, por conveniencia, se supone que los costos marginales de extracción en ambos períodos son constantes, aunque no necesariamente iguales. Asimismo se supone que los beneficios y costos marginales del período futuro se encuentran descontados mediante la apropiada tasa de descuento a fin de permitir la comparación con los valores presentes en términos homogéneos.

La elección de la apropiada tasa de descuento representa uno de los problemas más serios en la medida que debe revelar las preferencias sociales entre el presente y el futuro y, en materia del uso de recursos naturales y energía, supone establecer un adecuado equilibrio intergeneracional. Estas complicaciones han sido analizadas ampliamente en la literatura especializada (Solow, 1974b); Kay y Mirles, 1975; Koopmans, 1974; Farzin, 1984).

Tal como se ha definido en una sección anterior, los recursos no renovables son aquellos cuyo máximo stock utilizable está totalmente fijo y predeterminado. Generalmente se trata de recursos de origen geológico formados a través de procesos milenarios y que a los efectos de cualquier análisis deben considerarse con una tasa nula de generación o regeneración.

Su utilización en un cierto período significa un uso definitivo y su stock, por lo tanto, es reducido en igual magnitud a la extracción. Los ejemplos típicos de este tipo de recursos son el carbón, el petróleo, el gas natural, los minerales, el salitre, etc. Por sus características muchos de ellos representan bienes con una importancia decisiva en el mundo moderno, especialmente aquellos vinculados a la energía. De allí que el interés en su estudio no provenga solamente desde la perspectiva académica, sino que hay una relevancia política y aun estratégica.

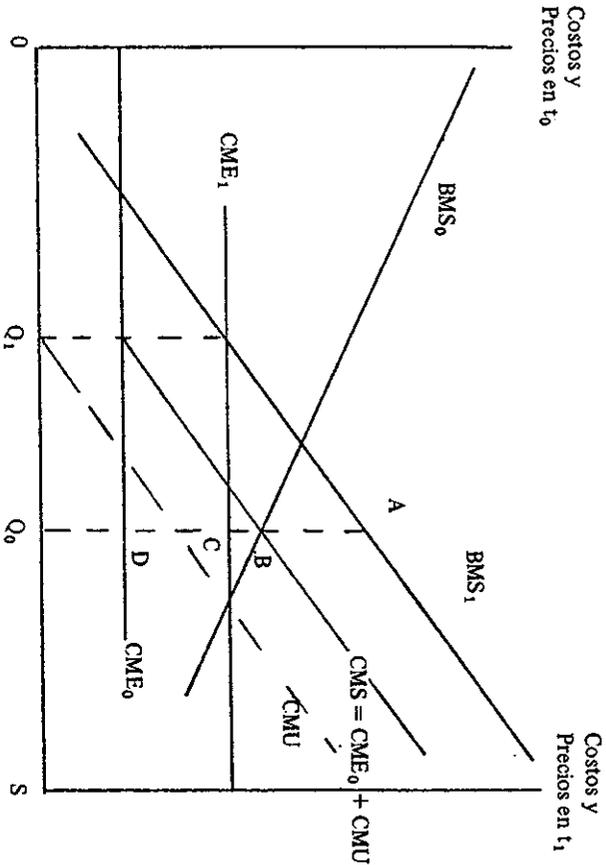
En la Figura 3 se indica nuevamente en el eje horizontal la disponibilidad del recurso agotable, siendo OS el stock total. En sentido vertical se miden costos y beneficios. BMS₀ y BMS₁ representan los beneficios marginales sociales derivados del consumo presente y futuro, respectivamente, mientras que CME₀ y CME₁ indican los costos marginales de extracción en t_0 y t_1 . Pueden definirse las primeras curvas como las demandas presente y futura, respectivamente, mientras que las últimas son las ofertas en cada uno de esos períodos.

Pueden considerarse dos casos diferentes: Si el stock disponible excede la suma de las cantidades máximas que serían consumidas en los dos períodos, entonces no existe ningún problema de limitación o agotabilidad del recurso y la asignación intertemporal se soluciona como dos problemas independientes. En este caso no existe un costo marginal de uso relevante, puesto que suponiendo que el equilibrio en cada período se determina cuando el costo marginal de extracción es igual al beneficio marginal social, las cantidades consumidas en ambos períodos no agotan el recurso. En la realidad, tal sería el caso de ciertos minerales de gran abundancia relativa en la naturaleza; por ejemplo, la sal, la caliza o el granito, cuyo consumo en el presente no plantea —hasta ahora— un problema de agotabilidad.

El segundo caso es el más interesante desde el punto de vista económico. En la Figura 3 se observa una situación que es probablemente más realista para recursos como el petróleo o el gas natural.

Para conocer el verdadero costo para la sociedad de la extracción del recurso se determina el costo marginal social en el período t_0 (CMS) que es igual a la suma del costo marginal de extracción (CME₀) más el costo marginal de uso (CMU).

FIGURA 3



Este último refleja la disminución de beneficios sociales netos en el período t_1 a raíz de que el consumo en ese período será menor a lo que estaría definido por la igualdad entre BMS_1 y CME_1 , en la situación sin agotabilidad.

Es decir, para consumos presentes mayores a Q_1 , se impone a los consumidores futuros un costo adicional, reflejado por la diferencia entre BMS_1 y CME_1 , o sea, CMU . Este costo se suma verticalmente a CME_0 y se obtiene el costo marginal social CMS , incurrido por la extracción y consumo del recurso agotable en t_0 .

La utilización óptima del recurso exige que el beneficio marginal social del período presente sea igual al correspondiente costo marginal social, es decir, un consumo presente Q_0 . El precio del recurso en el período presente se representa entonces por la altura BQ_0 .

En cuanto al período futuro, la cantidad del recurso disponible es Q_0S y su precio AQ_0 .

Como consecuencia de este razonamiento puede establecerse una condición muy importante para la óptima asignación del recurso. Los beneficios marginales netos deben ser iguales en ambos períodos e iguales al costo marginal de uso del recurso.

El beneficio neto marginal es la diferencia entre el beneficio marginal social y el costo marginal de extracción para cada período. En el período inicial el beneficio marginal neto de la asignación óptima está representado por el segmento BD ; mientras que para t_1 , es AC . Ambos segmentos son iguales por construcción. El costo marginal de uso es también BD cuando el consumo presente es Q_0 .

Esta condición permite que en el óptimo no resulte eficiente transferir recursos entre ambos períodos, ya que al hacerlo disminuiría el beneficio total intertemporal para la sociedad.

C. Un modelo dinámico

El modelo gráfico presentado en la sección anterior muestra algunas características fundamentales del problema intertemporal de los recursos naturales, pero no es apropiado para identificar la magnitud de las diferencias entre los precios que se determinan en cada período. Sirve para reconocer los componentes del costo marginal social en t_0 , pero no se pueden establecer los parámetros que determinan la evolución de los precios del recurso entre períodos. Esta última circunstancia es fundamental, ya que la evolución de precios desde el presente hacia el futuro es la clave para determinar si el recurso efectivamente se está volviendo más escaso o si está agotándose, desde un punto de vista económico.

Este problema —como se ha indicado en la Introducción— fue reconocido desde los albores de la ciencia económica, pero fue H. Hotelling (1931) quien estableció un tratamiento muy riguroso que ha marcado el análisis teórico hasta el presente (Devorajan y Fisher, 1981; Solow, 1974(a)). Ese autor propuso una regla acerca de la evolución del precio de un recurso agotable, según la cual dicho precio debe crecer a una tasa igual a la tasa de interés, tanto a lo largo de una senda temporal de extracción eficiente como en el equilibrio competitivo de la industria.

Para analizar este planteo se utilizará un modelo dinámico en el cual la asignación de recursos para la explotación de un recurso natural no renovable debe considerarse no solamente el período presente, sino también la evolución futura de las variables involucradas. En particular, es necesario tomar en cuenta el horizonte de planeamiento sobre el cual se desarrolla la explotación.

Sea

$$q = G(R, K)$$

la "función de producción" del recurso no renovable en la cual la cantidad extraída del mismo, q , depende del stock existente del recurso R y de un factor variable reproducible K , que se podría asimilar al capital o a una medida de esfuerzo productivo empleado en la extracción en el que se ponderan capital y otros factores. Para simplificar el tratamiento se supone que G es una función homogénea, lineal y cóncava.

La definición de G responde al hecho observado de que la magnitud de la producción de un cierto recurso depende en parte del esfuerzo aplicado y en parte de la cantidad acumulada del recurso, es decir, del tamaño del yacimiento. A medida que este último se va agotando resulta más difícil extraerlo con un mismo nivel de uso de capital y otros insumos. Simultáneamente, mayores niveles de esfuerzo permiten una mayor extracción para un determinado nivel del stock. Por lo tanto esta función de producción muestra las características habituales:

$$G_R > 0; \quad G_K > 0; \quad G_{RK} = G_{KR} < 0$$

en que G_R y G_K indican las productividades marginales del nivel de stock y del esfuerzo productivo, las que ambas son decrecientes.

Se supone también que el yacimiento tiene un único propietario, a fin de evitar las complicaciones que surgen de los problemas de propiedad común.

Sean P, PK y r los precios del recurso natural R , del esfuerzo productivo reproducible K y la tasa de descuento relevante, respectivamente. El horizonte de planeamiento se supone hasta que se agote el yacimiento y el tiempo se mide a través de la variable continua t .

El objetivo del propietario del stock es maximizar el valor actual de los beneficios netos que se derivan de su explotación a lo largo del horizonte de planeamiento sujeto a las restricciones de la función de producción y la evolución del stock, es decir, maximizar

$$\int_0^{\infty} [P g(R, K) - K r_k] \exp(-rt) dt$$

sujeto a:

$$\frac{dR}{dt} = R - q \quad (1)$$

$$q = R g'(K/R) = R g'(k) \quad (2)$$

$$q \geq 0 \quad (3)$$

La condición (1) representa la evolución temporal del stock. Dado que el recurso natural es no renovable, el yacimiento disminuye en cada período en una magnitud equivalente a la cantidad extraída.

La restricción (2) indica la función de producción en términos de la variable $k = K/R$, o sea, la relación esfuerzo productivo-recurso natural.

La restricción (3) de no negatividad de q tiene un significado obvio. Por último, el valor de $R(0)$, o sea, el stock inicial está dado.

El problema puede asimilarse a uno de control óptimo y puede resolverse aplicando el principio de máximo de Pontryagin (Intriligator, 1971). Para ello se define la función de Hamilton:

$$H = [P g(k) - k P_k] R + \lambda (-q)$$

$$= [P g(k) - k P_k] R - R \lambda g'(k)$$

donde la variable auxiliar λ desempeña un significado muy importante que se explicará en un párrafo próximo.

Suponiendo que $K > 0$, las condiciones necesarias para la óptima asignación son:

$$\frac{\partial H}{\partial K} = P g'(k) - P_k - \lambda g'(k) = 0$$

o sea,

$$[P - \lambda] g'(k) = P_k \quad (5)$$

y además,

$$\begin{aligned} -\frac{\partial H}{\partial R} &= \dot{\lambda} - r \lambda \\ &= -[(P - \lambda) g'(k) - k g'(k)] \end{aligned}$$

es decir,

$$\dot{\lambda} - r \lambda = - (P - \lambda) P_{\text{Marg}} R \quad (6)$$

$$\dot{\lambda} + (P - \lambda) P_{\text{Marg}} R = r \lambda$$

La variable auxiliar λ es el valor marginal imputable a los recursos que se mantienen en stock, es decir, es el costo marginal de uso del recurso. Un sistema con utilización óptima establecería este valor (precio) a cada unidad extraída del recurso, independientemente de los costos de producción del mismo.

También puede interpretarse en el sentido de que cada unidad que se mantiene en stock tiene un valor λ debido a su utilización futura. Es en definitiva el valor económico del stock del recurso no renovable. De tal forma, $P - \lambda$ es el valor neto de las unidades extraídas, ya que P es lo que se obtiene en el mercado por cada unidad —es el valor bruto del recurso—, mientras que λ es lo que se dejará de percibir en el futuro por su utilización presente.

La ecuación (5) es entonces la condición de equilibrio en la asignación del esfuerzo productivo reproducible K (capital) para la explotación del recurso no renovable. Establece que el valor neto del producto marginal del capital $(P - \lambda) g'(k)$ debe ser igual al precio de mercado del capital, P_k . Otra forma de expresar esta ecuación lleva a la condición de equilibrio intertemporal presentada en el análisis gráfico de la sección anterior. Efectivamente, el precio de mercado P del recurso no renovable en equilibrio es igual a la suma del costo marginal de extracción $P_k/g'(k)$, más el costo marginal de uso λ :

$$P = P_k/g'(k) + \lambda$$

La condición (6) requiere que la explotación del recurso sea tan atractiva como cualquier otra actividad en la economía. La ganancia de capital derivada de mantener el recurso inexplorado, λ , más el valor neto del producto marginal del recurso extraído, $(P - \lambda) P_{\text{Marg}} R$, menos el costo de oportunidad de mantener la unidad marginal en stock, $r \lambda$, debe ser cero. Esto significa que el propietario de la mina debe encontrarse indiferente entre obtener su ingreso del producto de la explotación o de mantener el recurso en el yacimiento, esperar su valorización y explotarla en el futuro.

Se puede expresar (6) de la siguiente manera:

$$\dot{\lambda} / \lambda = r - P_{\text{Marg}} R [(P/\lambda) - 1] \quad (7)$$

(7) dice que la tasa de crecimiento del costo marginal de uso es igual a la tasa de interés menos un cierto valor que depende de P , λ y el $P_{\text{Marg}} R$. Dado que se supone que $P > \lambda$, (5) y (6) son condiciones suficientes. Esto tiene una interpretación clara, ya que si $P_k > 0$ el valor de la unidad marginal extraída, P , debe ser mayor que dicha unidad en stock, λ , para que la explotación efectivamente ocurra.

Por esto, siendo $P_{\text{Marg}} R > 0$ y $(P/\lambda) > 1$ la tasa de crecimiento del valor del recurso, $\dot{\lambda}/\lambda$ es menor que la tasa de interés del mercado.

En realidad podría llegar a ocurrir que $\dot{\lambda}/\lambda$ fuera negativo si el valor de $P_{\text{Marg}} R [(P/\lambda) - 1]$ es muy grande respecto de r .

El resultado (7) es muy importante, ya que es una generalización del principio establecido por Hotelling en 1931. Allí se estableció que el propietario de un yacimiento

considera a éste como cualquier otro activo Y , por lo tanto, le exige un rendimiento igual al que obtendría en el mercado. Es decir, el dueño de la mina debe encontrarse indiferente entre extraer una unidad hoy y con su producto obtener una renta r en un periodo o mantener dicha unidad en el stock y esperar un periodo para extraerla obteniendo por ella un mayor valor λ/λ .

Este resultado fundamental que establece que el recurso se valoriza, "ceteris paribus", a la tasa r por periodo, es modificado por la condición (7). Allí se ve que el principio se cumple en ausencia de $PMarg.R = 0$, entonces efectivamente

$$\lambda/\lambda = r.$$

Esto tiene una clara explicación. Si la función de producción del recurso depende del valor del stock de manera que $PMarg.R > 0$, entonces el aumento que se exige del valor del recurso no renovable mantenido en stock es igual a la tasa de interés relevante, menos el ajuste debido a la disminución del stock por la explotación presente.

Es importante recalcar que no es el precio de mercado del recurso el que aumenta en el tiempo, sino el valor del stock, o sea, del recurso no extraído. Además esta relación básica se complica en la realidad debido a que existen al menos tres factores importantes en su determinación. Primero, la organización del mercado del recurso influye en la trayectoria temporal óptima de explotación y precios. Segundo, la identificación de la magnitud de los stocks de diversos recursos varían en el tiempo, ya sea por la aparición de nuevos yacimientos o por avances tecnológicos en la exploración y extracción, y esto hace variar el valor de los stocks existentes y en explotación. Tercero, la aparición de nuevos usos del recurso o, especialmente, de sustitutos y tecnologías alternativas puede modificar sustancialmente los precios presentes y esperados para el futuro en determinados recursos. A esto deberían agregarse las complicaciones que surgen por la existencia de incertidumbre en los parámetros de demanda futura y de magnitud de los yacimientos o la aparición de técnicas de reciclado y reuso.

D. Recursos esenciales

Uno de los aspectos que más ha preocupado en la problemática de la explotación de los recursos no renovables es el vinculado con la hipótesis que se podría llamar apocalíptica. Según ese enfoque, el agotamiento de estos recursos llevará en forma inexorable a la desaparición de la actividad económica al menos en la forma que se desarrolla en el mundo contemporáneo. Ya que ellos son necesarios o más aún imprescindibles para desarrollar dicha actividad. Esto sería especialmente aplicable al caso de los recursos energéticos debido a la especial preponderancia que ellos han adquirido en la economía moderna (Meadows, *et al.*, 1972).

Más allá de la circunstancia de indicar una actitud cautelosa frente a un problema real, esta hipótesis pesimista no presenta en su totalidad la gama de alternativas que se abren a la economía para enfrentarlo.

El primer argumento que puede esgrimirse es el vinculado al avance tecnológico. En la medida que los recursos se han hecho más escasos en un sentido económico, se han desarrollado tecnologías más apropiadas, tanto para la obtención más eficiente de los mismos como para el ahorro en su consumo. Esto hace pensar que los cambios tecnológicos en el sentido apropiado pueden reducir el riesgo de un agotamiento absoluto, o al menos postergarlo de una forma más o menos indefinida.

Pero aun en ausencia de mejoras tecnológicas debe primero identificarse la efectiva necesidad de esos recursos en los procesos productivos. O sea, debe determinarse si los mismos son, en efecto, esenciales para la producción y en su caso qué significa esto en términos de análisis de las oportunidades de la economía.

Todo esto lleva inmediatamente consigo el hecho de que esas oportunidades dependan de la facilidad o dificultad que haya en sustituir los recursos esenciales por otros no agotables o reproducibles y en su caso bajo qué condiciones.

Estos argumentos se han analizado en la literatura, tanto en esquemas de la economía en general como en planteos sectoriales para un recurso en particular (Dasgupta y Heal, 1974; Solow, 1974(a); Moroney y Trapani, 1981; Halvorsen y Smith, 1986).

Por ejemplo, Dasgupta y Heal (1974) demuestran que

$$k/k = \sigma g(k)/k \quad (8)$$

donde K representa la utilización de insumos reproducibles, por ejemplo, capital, y R es el flujo de recursos naturales no renovables usados en la producción; $k = K/R$; $g(k)$ es una función de producción de toda la economía, la cual es homogénea y lineal, y σ es la elasticidad de sustitución en la producción entre K y R .

La relación $k = K/R$ mide la importancia relativa que tiene en la economía el capital respecto del recurso no renovable. Se observa que la tasa de variación de k en el tiempo depende de la elasticidad de sustitución y del producto medio del capital. Cuanto más importante es el capital en el proceso productivo, en el sentido de que mayor es el producto medio del capital, o sea, la relación $g(k)/k$, para un mismo valor de σ , tanto mayor es la tasa de crecimiento de k ; o sea, el proceso se hace cada vez más intensivo en capital en términos relativos. Por otro lado, para un cierto valor de $g(k)/k$, cuanto mayor sea la posibilidad de sustitución entre K y R tanto mayor será la tasa de crecimiento de k , haciéndose de esa manera menos importante en términos relativos el uso del recurso no renovable en la producción.

La importancia de (8) se hace más patente cuando se analiza el problema de los recursos llamados "esenciales".

Si $G(K, R)$ es la función de producción agregada, R es un recurso natural "necesario" si $G(K, 0) = 0$, es decir, que no es posible desarrollar la actividad productiva en ausencia de dicho recurso. Sin embargo, esto no significa que el recurso no renovable, cuyo stock es finito, sea esencial. Puede plantearse un esquema de producción tal que el limitado stock se distribuya en el tiempo a lo largo de un periodo casi ilimitado y de tal forma la producción sea posible. Ello significa que si un cierto recurso es necesario y simultáneamente limitado en stock, ello no implica que la economía corra necesariamente el riesgo del estancamiento y declinación.

Sin embargo, el hecho de la factibilidad de mantener la actividad económica no asegura un mínimo de prosperidad. La pregunta relevante es si acaso es posible establecer un programa de uso del recurso no renovable y de producción y consumo en la economía de manera que este último no caga nunca por debajo de un cierto nivel mínimo que la sociedad juzga como un nivel de vida razonable. En tal sentido, si hay un progreso tecnológico continuo y sesgado en el sentido de ahorrar el recurso no renovable, se puede asegurar que el consumo per cápita en la sociedad se mantenga por arriba del piso que se considera razonable como nivel de vida.

Pero aun si se postulara que no existe progreso técnico, en la medida que haya posibilidad de sustitución entre el recurso no renovable y los insumos reproducibles, el proceso de acumulación de estos últimos (por ejemplo, capital) podría permitir eliminar las restricciones que se plantean sobre el nivel de bienestar alcanzable por la sociedad.

Por lo expresado en los párrafos anteriores, las cuestiones más relevantes acerca de los recursos no renovables no se refieren a si acaso la producción es posible sin esos recursos (por ejemplo, la energía de origen fósil), sino más bien a si existe posibilidad de cambio tecnológico ahorrador del recurso o de sustitución entre insumos agotables y reproducibles. De hecho, si en la economía no hay cambio tecnológico ni posibilidades de sustitución, aunque el stock inicial de los recursos agotables sea relativamente grande, en el largo plazo la actividad económica tenderá a desaparecer.

Por todo esto se ha definido un recurso agotable como "no esencial" si es que existe un programa temporal de asignación de recursos tal que el consumo no tiende a desaparecer. Por el contrario, un recurso es "esencial" si es que el consumo factible para la sociedad debe necesariamente reducirse a cero en el largo plazo. De tal manera la hipótesis llamada "apocalíptica" no puede eludirse en el largo plazo si es que hay recursos esenciales.

Se ha demostrado (Dasgupta y Heal, 1974) que entre las funciones de producción del tipo CES, es decir, de elasticidad de sustitución constante, un insumo no renovable es esencial sólo si $\sigma < 1$. Si, en cambio, $\sigma > 1$ es no esencial. El tipo crítico, entonces, es el de las Cobb-Douglas, en que el referido parámetro es unitario. En tal caso el resultado depende de si la elasticidad del producto respecto al insumo reproducible K es mayor a la misma elasticidad respecto del recurso no renovable R , en cuyo caso el recurso no es esencial y su agotabilidad no impone un costo absoluto e inevitable a la sociedad. Por el contrario, si el signo de la relación entre ambas elasticidades es inverso, el recurso es esencial. Los estudios empíricos disponibles indican, por el lado de las participaciones de los factores en el producto, que, en general, la elasticidad de producción respecto al insumo reproducible excede en varias veces la elasticidad de la producción respecto al recurso no renovable.

Por otro lado, del análisis del comportamiento de las funciones de producción en "situaciones de esquina", o sea, para valores muy altos de k , surge que sólo las funciones del tipo Cobb-Douglas tienen propiedades empíricamente razonables.

Las situaciones de esquina no tienen únicamente un interés teórico, sino que representan un escenario posible de ocurrir en la medida en que los recursos no renovables se van agotando, su precio creciendo y la necesidad de sustitución por recursos reproducibles haciéndose mayor. Si bien es cierto que en el mundo real para los valores "moderados" de k , o sea, de la relación capital-recurso agotable, la elasticidad de sustitución se mantiene mayor a uno, ello no puede asegurarse absolutamente para valores mayores de k . De tal forma es importante la preocupación por valores altos de k , en especial por su plausibilidad en el largo plazo. Además, puede demostrarse que si σ es constante, independientemente de su valor, no resulta óptimo para la economía agotar el stock del recurso.

En otro contexto teórico J. Stiglitz (1974) ha demostrado que es posible para una economía con las características descritas anteriormente mantener un nivel constante de ingreso per cápita bajo alguna de las siguientes condiciones: a) que $\sigma > 1$; b) que $\sigma = 1$ y la participación de K en producto mayor que la de R ; o c) que exista un proceso de cambio tecnológico ahorrador de R .

Algunos estudios empíricos han tratado de medir los parámetros relevantes Moroney y Trapani (1981) estimaron elasticidades de sustitución en diversas industrias intensivas en minerales en el período 1958-1974. Sus resultados no son concluyentes en cuanto a valores típicos de elasticidades de sustitución de recursos minerales y capital. Algunas industrias presentan valores mayores a la unidad (fundiciones de acero) y otras indican valores muy bajos (cemento). Halvorsen y Smith (1986) obtienen resultados más conclu-

yentes y alentadores en cuanto a la viabilidad del crecimiento económico. En un estudio sobre las posibilidades de sustitución en la industria canadiense de la minería metálica para el período 1954-1974, ellos encuentran que las elasticidades de sustitución entre recursos naturales y los insumos reproducibles (capital y trabajo) son unitarias o mayores a uno para todas las observaciones dependiendo de la especificación del modelo.

Es evidente que una gran cantidad de trabajo empírico es aún necesario para tener una perspectiva más precisa acerca de las verdaderas magnitudes de los parámetros críticos en el problema de los recursos esenciales.

E. Escasez y agotabilidad de los recursos

Los planteos teóricos de las secciones anteriores permiten identificar muchos importantes problemas asociados a los recursos naturales no renovables. Por ejemplo, las condiciones de mercado en que se desarrolla la extracción de esos recursos son fundamentales, ya que el equilibrio de los mercados de la realidad en muchos casos se acerca más al monopolio que a las situaciones de competencia y ello puede significar —entre otras cosas— que el comportamiento monopolístico sea más "conservacionista" que el competitivo (Stiglitz, 1976; Kay y Mirles, 1975).

Otro aspecto relevante que debe considerarse en un análisis de la explotación de los recursos es el relacionado al proceso de explotación y descubrimiento de nuevas reservas. Esto está íntimamente vinculado al problema central de los recursos no renovables, su agotabilidad y el plazo en que ella ocurrirá. Los motivos económicos presentes en el proceso de explotación y búsqueda de nuevas fuentes no son independientes ni ajenos al proceso de explotación y en ese contexto deben ser estudiados (Devarajan y Fisher, 1982).

Los problemas de equidad intergeneracional se refieren a la relación que existe entre el bienestar de las personas de diferentes generaciones en cuanto está influido por la utilización de recursos, cuyo uso es excluyente entre ellas. Tales problemas cada día toman mayor relevancia, en especial a la luz de los planteos de los movimientos ecologistas. Muchas preguntas pueden formularse en este contexto: ¿cuál es la apropiada tasa de descuento a aplicar cuando se trata de evaluar costos y beneficios referidos a la sociedad en que vivirán nuestros hijos o nietos?; ¿cómo puede el Gobierno interpretar los sentimientos de las próximas generaciones cuando se toman decisiones de gravar la explotación presente de yacimientos o se incentivan las inversiones en nuevas explotaciones?; ¿cuál es la carga que se impone a esas generaciones en términos de externalidades vinculadas a la utilización de los recursos? (Peterson y Fisher, 1977).

Sin embargo, probablemente el tema más importante en cuanto a su relevancia empírica es el vinculado a la pregunta de si la sociedad está "agotando" la dotación de recursos que le asignó la naturaleza. En su caso, ¿cuál es la rapidez con que ocurre este fenómeno? ¿Es esa velocidad la adecuada? Aun antes que eso, ¿es efectivo que ocurre tal agotamiento?

No hay dudas de que desde un punto de vista estrictamente físico el mundo está en un proceso permanente de transformación de la energía, el que toma diferentes formas. Hasta la energía del sol, eventualmente, desaparecerá en millones de años. Sin embargo, no es ese el sentido de la pregunta de la agotabilidad, desde una perspectiva económica. En este caso interesa saber si hay medios en la sociedad como para determinar a través de algún indicador si el ritmo de explotación es el adecuado, o si es muy rápido, o lento. Como consecuencia de esto se impone la pregunta sobre si los recursos son hoy más "escasos" que ayer; o si serán mañana más escasos que hoy.

Todas estas preguntas llevan a la necesidad de identificar alguna medida sobre la escasez de los recursos naturales de modo de conocer con mayor rigor cuál es su verdadero significado.

Algunos autores (Pindyck, 1978) opinan que —en primer lugar— no hay tal agotamiento de reservas, porque éstas no son fijas en un sentido económico, sino que pueden ir ajustándose en el tiempo sobre la base de incentivos adecuados que permitan la exploración y descubrimiento de nuevas fuentes. Por ello se propone que los recursos sean considerados "no renovables" en lugar de "agotables". Las reservas no son en rigor una "dote" que reciben gratuitamente los productores, sino que ellas son desarrolladas sobre la base de la exploración. Para algunos recursos naturales el período de los grandes descubrimientos, o de aquellos que podrían calificarse como los más "fáciles", ya ha pasado (por ejemplo, petróleo, gas, hierro). Por lo tanto, los nuevos descubrimientos y hallazgos de yacimientos requieren de un esfuerzo creciente. En el caso de otros recursos (por ejemplo, los minerales radiactivos) ese período de grandes descubrimientos y desarrollos no ha concluido aun. Ambas situaciones generan diferente comportamiento de los costos asociados a la exploración. Por todo esto, se afirma, las reservas de explotación pueden incrementarse en el tiempo implidiendo que se llegue a la extinción física del recurso explotable.

Además de la importancia de los incentivos para la identificación económica de los recursos y del efecto de los costos sobre ese proceso, hay otros factores que actúan en la determinación de la magnitud de las reservas de recursos. Ellos son el progreso tecnológico y las economías de escala en la obtención de ellos y la sustitución entre productos y factores en la dirección de ahorrar la utilización de los recursos no renovables. Cualquier estudio que pretenda abordar el problema económico del uso de recursos naturales en un ámbito empírico debe tomar esos aspectos en consideración.

Cualquiera sea el caso es necesario disponer de indicadores que permitan establecer cuantitativamente la efectiva evolución de las disponibilidades por parte de las sociedades de los distintos recursos naturales no renovables. Se han ensayado varias medidas de escasez para definir el pretendido agotamiento. Ninguna de ellas parece ser unánimemente aceptada, aunque por diferentes motivos.

1. Relaciones entre variables físicas

Las medidas de escasez relativa de un recurso basadas en variables de stock y de flujo que se refieren al mismo han sido las primeras en ser utilizadas.

Uno de los trabajos pioneros que contribuyó a despertar el interés de economistas y otros científicos en el tema fue el que encargó el Club de Roma (Meadows *et al.*, 1972) para analizar los límites previsibles al crecimiento de la economía mundial. En lo que interesa en esta sección, el referido estudio concluye que los recursos sobre los que se basa la economía moderna, en especial los energéticos y los que utilizan los países más avanzados, se encuentran físicamente cerca de su agotamiento. Esto impondría al mundo una exigencia inmediata de reconvertir los sistemas productivos y de consumo de modo de postergar una catástrofe universal.

Para demostrar la proposición se usaron diversos indicadores y, en particular, la relación entre las reservas comprobadas de cada recurso y el consumo anual del mismo. Este valor muestra una aproximación al número de años para los que se dispone de recursos de acuerdo al uso que se hace de ellos en la actualidad. Los datos empíricos indican que esta relación habría disminuido en la mayor parte de los materiales estratégicos, imponiendo un serio riesgo a las economías.

Esta manera de medir la escasez muestra un fuerte sesgo en el sentido de no considerar aquellos elementos que el sistema económico dispone para enfrentar ese problema, es decir, los precios. Precisamente por tal motivo las conclusiones que se derivan de este enfoque no tienen la validez que le adjudican sus autores. Esta omisión excluye también las posibilidades normales de sustitución en la producción y el consumo y las posibilidades que brinda el avance técnico.

Otra relación que se ha utilizado para medir la pretendida agotabilidad de los recursos es la de reservas frente a producción anual. De tal forma el índice es una estimación de los años de producción que pueden acometerse con las actuales reservas conocidas (Devarajan y Fisher, 1982). Nuevamente este indicador falla en considerar la intrínseca variabilidad de los fenómenos económicos en función de los precios relativos. Especialmente esto es cierto para períodos largos.

A pesar de los inconvenientes que las relaciones indicadas tienen, es muy habitual el uso de estos conceptos para medir los stocks existentes en términos relativos a la producción y consumo. La razón fundamental de la popularidad del criterio está en su simplicidad y facilidad de cómputo, como también en una interpretación sencilla, aun para quienes no son especialistas.

Cuando se analizan situaciones empíricas, como el caso del petróleo y gas natural, se encuentra que —en general— hay una relativa estabilidad en el tiempo. Esto significa que a lo largo de varios años la cantidad relativa de reservas se mantiene a pesar de los incrementos de producción o consumo. Devarajan y Fisher (1982) indican que la relación reservas a producción se mantuvo relativamente constante en EE.UU., en un nivel de aproximadamente 12 años, mientras que en el mundo, después de la gran crisis energética de 1973, aumentó de 22 a 33 años. Estas cifras contradicen en el caso particular de estos combustibles las conclusiones que habitualmente se han escuchado en el tema.

Obsérvese que las magnitudes de estos indicadores no brindan información acerca de si hay o no un "agotamiento" en las cantidades de los recursos naturales, es decir, si acaso en algún momento futuro la sociedad no dispondrá de los mismos en términos económicamente razonables.

2. Indicadores basados en los costos

Frente a los datos incompletos que transmiten los indicadores expresados en términos físicos, se han propuesto varios otros basados en la estructura de los costos de los recursos naturales.

Quizás el trabajo más importante en esta área ha sido el estudio de Barnett y Morse (1963), que miden la evolución de escasez de recursos a través del costo real unitario de extracción. En la medida que los yacimientos de una cierta materia prima se van agotando, el costo de su extracción debería ir aumentando. Por el contrario, si ese costo disminuye, no puede sostenerse en términos económicos que el recurso se esté agotando. Esos autores proponen un test de la "hipótesis fuerte" que la escasez económica de recursos naturales medida por la tendencia en el tiempo de los costos unitarios reales de extracción ha aumentado. Los datos de un período largo, desde 1870 a 1957, en los Estados Unidos permiten rechazar esa hipótesis, ya que los costos disminuyeron en casi todos los sectores económicos extractivos de recursos. La "hipótesis débil" de escasez relativa se comprobaba a través de la comparación de la evolución relativa de los costos unitarios de recursos naturales frente a los costos de bienes reproducibles. También esa hipótesis es rechazada.

El estudio de Barnett y Morse fue extendido por Johnson, Bell y Bennett (1980), que ratificaron los resultados anteriores y mostraron que en el período 1870-1970 los recursos

extractivos se volvieron menos escasos en términos de costos. En la mayor parte de los sectores considerados la tendencia fue que el costo unitario de extracción disminuyó en un alrededor de 2% anual en promedio durante el último siglo.

Las razones de este comportamiento descansan en dos factores importantes, según sus autores: los extraordinarios avances tecnológicos operados en todas las industrias extractivas y alteraciones en la estructura de la demanda en el sentido de sustituciones entre recursos menos abundantes por otros más abundantes.

A esta medida de escasez se le ha criticado, básicamente, que no es observable en forma directa y que a raíz de falta de información se requiere la construcción de índices muy complicados y a veces poco confiables. Una crítica más seria, desde un punto de vista teórico, es que el costo de extracción no incluye el costo de uso del recurso, de modo que podría mantenerse bajo, aunque el recurso estuviera prácticamente agotado. El costo de extracción puede o no incluir el "efecto stock", pero el costo de uso se refiere precisamente al valor del recurso en el yacimiento, el recurso aún no extraído, el cual aumenta en la medida de su escasez.

Aunque el costo de uso debe necesariamente considerarse, porque se refiere al costo futuro originado por la extracción presente, no es en sí mismo un indicador adecuado de escasez; entre otras razones, porque no existen datos directamente observables. Devarajan y Fisher (1982) desarrollan modelos bajo condiciones de certidumbre y de incertidumbre, encontrando una muy estrecha relación entre el costo de uso o renta de escasez y el costo de encontrar y desarrollar una unidad adicional del recurso; es decir, el costo marginal de descubrimiento. Esto significa que puede usarse el costo de descubrimiento, que es observable, como medida o límite del costo de uso. El estudio empírico que se realiza acerca del petróleo y gas, entre 1946 y 1971 en los Estados Unidos, indica que el costo promedio de descubrimiento ha crecido moderadamente a un promedio de 5.7% anual, indicando de esa manera una cierta escasez creciente, conclusión diferente a la indicada anteriormente.

Otra medida de escasez vinculada con los costos es la propuesta por M. Adelman (1986), una de las máximas autoridades en materia de economía de la energía. En referencia a la controversia sobre la escasez del petróleo, sugiere que la verdadera medida de escasez es el costo marginal de producción. Este registra la presión de la demanda sobre la oferta cuando los mercados reflejan situaciones competitivas y el precio es tomado por cada productor individual como un dato al cual hay que ajustarse. De tal forma es posible que haya una gran variabilidad en los costos medios de los productores, pero los costos marginales deben ser aproximadamente los mismos, ya que cada uno adapta su estructura productiva de manera de maximizar beneficios. El costo marginal incluye dos componentes, el costo marginal de operación, generalmente una proporción pequeña del total, pero de difícil identificación en la realidad, y el costo marginal de capital, que incluye una razonable tasa de retorno sobre la inversión necesaria para mantener o expandir la operación.

Cuando se mide la diferencia entre el precio de mercado y el costo marginal, en el caso del petróleo, surge como conclusión que en el mercado internacional, desde hace más de una década, los precios no guardan una relación con la escasez o un cambio en la escasez. Más bien se observa un manejo no competitivo de la oferta, de manera de mantener los precios a un nivel que no se compadece de los costos marginales, ya sea que se incluya o no una estimación de los costos de desarrollo de nuevas áreas como indicador de la escasez del recurso.

3. Indicadores basados en el precio

Sea cual fuere el método para medir la escasez de un recurso, debe acudirse al precio del mismo para tener una buena percepción económica del funcionamiento de ese mercado y de cómo se refleja la creciente escasez o agotabilidad si es que ella existe.

El precio del producto obtenido en alguna de las diversas etapas de procesamiento del recurso tiene la virtud mayor de ser observable y reflejar tanto los costos de extracción o procesamiento como el costo de uso. Por otro lado, la versión más simple de la famosa "regla de Hotelling", indicada en una sección anterior, establece que el precio debe crecer a la tasa de interés, reflejando el agotamiento del recurso, bajo el supuesto de costos marginales de extracción constantes.

Sin embargo, uno de los principales inconvenientes que tiene el precio es que también incluye rentas monopolísticas y componentes especulativos muy importantes en los mercados de algunos productos. Tal es el caso del mercado de petróleo o gas, en que los precios no pueden ser referidos para definir estrictamente la agotabilidad de tales bienes, debido a la cantidad de factores extracompetitivos que influyen en ellos. También se suele argumentar que es muy difícil obtener información de precios de recursos en industrias muy integradas verticalmente, de modo que hay que acudir a datos de etapas avanzadas, o sea, de productos procesados que incluyen otros factores ajenos a la escasez.

El criterio decisivo para la consideración del precio como índice de la escasez de un recurso consiste en saber si acaso su ritmo de evolución es compatible con el que surgiría en un esquema de eficiencia económica social, tal como sería el caso en mercados competitivos sin externalidades. Sólo así es posible conocer la posible escasez del recurso a través de los precios. Si la tasa de utilización de un recurso ha sido en un período mayor a la que habría ocurrido en condiciones de equilibrio competitivo, entonces puede esperarse una creciente escasez. Pero el inconveniente fundamental es determinar ese ritmo de eficiencia competitiva, especialmente en ausencia de externalidades o distorsiones de tipo institucional.

En forma directamente vinculada al precio del recurso extraído se encuentra el precio del recurso no extraído, o sea, el costo de escasez. Este último es estrictamente el indicador que debería crecer a la tasa de interés en un ámbito competitivo, ya que refleja el valor del activo representado por el yacimiento.

Hay bastante consenso entre los diferentes autores en reconocer que el costo de uso es —en teoría— el mejor indicador de escasez de un recurso (Brown y Field, 1978; Johnson, Ball y Bennett, 1980), aun cuando algunos, como Barnett y Morse (1963) lo descalifican para este objetivo, en especial por dificultades prácticas de medición. Además, desde el punto de vista teórico, las variaciones del costo de uso pueden estar influenciadas por cambios en la tasa de interés, en expectativas erráticas acerca del futuro del mercado o en alteraciones en las preferencias de los consumidores. Por otro lado, el costo de uso de un yacimiento individual puede crecer en una primera etapa de la explotación reflejando una mayor escasez, pero luego descende rápidamente en la medida en que se acerca el agotamiento del depósito, ya que el costo marginal de extracción se aproxima al precio de mercado.

Uno de los esfuerzos más interesantes, desde el punto de vista empírico para identificar la evolución en el tiempo de la renta de escasez de un recurso en particular, es el trabajo de Halvorsen y Smith (1984) acerca de la industria canadiense de minería metálica. Usando teoría de la dualidad se construye un estimador econométrico del costo de uso de los recursos naturales usados en esa industria. La conclusión más significativa de estos autores es que en el período 1956-1974 los valores estimados del precio sombra

(costo de uso) de los recursos minerales muestran una tendencia decreciente y con ello también sería decreciente la escasez de tales recursos. Por otro lado, la evolución de los precios de mercado de los mismos materiales en igual período señala un pequeño aumento en términos reales. Esto último indicaría una conclusión diferente en cuanto a la escasez. De modo que el resultado "correcto" depende de qué definición de escasez se esté utilizando en el contexto particular del análisis.

4. ¿Cuál es el mejor indicador de escasez?

Tal como se ha podido apreciar en esta sección todos los posibles indicadores de escasez o agotabilidad de un recurso natural pueden ser objetados en cuanto a su conveniencia o razonabilidad.

Más aún, diferentes indicadores pueden sugerir diferentes y hasta opuestos resultados en cuanto al problema de la escasez creciente de recursos, colocando de esa forma un signo de incertidumbre en cuanto al verdadero resultado.

Dado que los indicadores pueden responder a diferentes conjuntos de factores técnicos y económicos, no hay razón para esperar una homogeneidad total en cuanto a sus valores o tendencias en el tiempo.

En general, aquellos indicadores vinculados al costo y al precio son los más apropiados desde un punto de vista económico. Ninguna medida particular, sin embargo, es la mejor en términos teóricos. La elección del indicador más adecuado depende del contexto analítico y empírico en que se aplicará.

Por ejemplo, puede afirmarse que el costo de uso o renta del recurso es el más apropiado cuando se trata de medir las magnitudes del stock del recurso. Pero dado que la escasez debe medir los sacrificios requeridos para obtener una unidad del recurso, cuando éste se trata de un factor de producción o bien de consumo, su precio es una medida más apropiada, ya que los costos de extracción deben incluirse en los sacrificios necesarios para obtener el flujo del recurso.

No es fácil, por lo tanto, generalizar de una forma absoluta acerca de este tema. En la mayor parte de las situaciones es preferible contrastar varios indicadores, de manera de disminuir la incertidumbre en cuanto a la escasez o agotabilidad de un recurso.

F. Consideraciones finales

A través de este trabajo se busca difundir algunos elementos básicos de la teoría de los recursos naturales no renovables y su utilización como antecedente necesario para atender a la preocupación sobre su posible agotamiento.

¿Cuál es la importancia empírica de conocer la respuesta a esa preocupación? Los países destinan en todo el mundo millones de dólares anualmente a inversiones en recursos naturales e industrias relacionadas. Gran parte del bienestar de la sociedad moderna está basado en la utilización y condicionado a la existencia de recursos energéticos, muchos de ellos no renovables.

La ciencia económica tiene mucho que decir respecto de la conveniencia o no de aquellas inversiones o acerca de los efectos sobre el bienestar de generaciones presentes y futuras, pero también la profesión se encuentra aun ignorante en muchos aspectos de relevancia. El énfasis del presente trabajo es el de destacar algunos puntos positivos y advertir sobre otros insuficientes en el estudio que la economía está en condiciones de hacer sobre estos recursos.

La primera parte se refiere, a través de un modelo gráfico, a las características del equilibrio intertemporal en el cual se desata que las decisiones de extracción en el presente afectan las posibilidades de uso futuro. Ello significa que las condiciones del equilibrio eficiente entre períodos deben reconocer esa situación. El costo de escasez intertemporal, denominado costo de uso del recurso, juega entonces un rol necesario.

Cuando el objetivo del dueño del stock de un recurso natural no renovable —como en cualquier otro caso— es maximizar sus utilidades tomando en consideración el horizonte futuro de su explotación, la solución de mercado lleva a una asignación eficiente de los factores utilizados y del perfil temporal de extracción del recurso no renovable. Esto puede tomarse como una conclusión de la segunda sección del trabajo, donde se presenta un modelo de equilibrio intertemporal para un explotador individual en condiciones de competencia.

Frecuentemente se oyen argumentos que advierten sobre la hecatombe que se cierra sobre la economía en determinados países a raíz de la posible extinción de ciertos recursos. Esto origina el interés sobre el problema de los llamados recursos esenciales que ocupa la siguiente sección del trabajo. Allí se indica que la mera circunstancia de que un recurso agotable sea necesario para la producción no lo convierte en esencial. Las condiciones en que se desarrolla dicha producción, en particular el valor de la elasticidad de sustitución entre recursos agotables y factores reproducibles, definen la característica de esencial y, por lo tanto, si su carencia provoca algún desequilibrio grave a la sociedad. Cuanto más fácil sea aquella sustitución, la economía tenderá en el tiempo a hacerse más intensiva en capital (insumo reproducible). Esto es lo que el sentido común nos indica. Pero frente a ello surge la pregunta de si es posible sostener una economía cuando la relación capital-recurso natural es muy alta, es decir, si la producción puede ser positiva cuando el recurso tiende a desaparecer. Esto es lo que significa que el recurso sea esencial. En un conjunto importante de procesos productivos, los que pueden representarse por funciones de producción de elasticidad constante, el recurso agotable es esencial sólo si la elasticidad de sustitución es menor a la unidad. Además de las posibilidades de sustitución, el nivel de ingreso per capita en la sociedad puede ser sostenido mediante un adecuado proceso de ajuste tecnológico. Los estudios empíricos en este tema son aún muy escasos, parciales y, por lo tanto, no concluyentes. Mucha investigación empírica se requiere aún en este campo.

Por último, la pregunta acerca de la escasez creciente o agotabilidad de los recursos y cómo medir el fenómeno son abordados en la sección final del trabajo. Es innegable que los recursos llamados no renovables se extraen y utilizan a una velocidad mucho mayor que su tasa de regeneración. De hecho, quemar un litro de petróleo lleva algunos minutos y su proceso de formación millones de años. Sin embargo, no es inmediata la respuesta acerca de cómo medir ese agotamiento físico del recurso de una manera válida y relevante desde el punto de vista económico. Los diversos indicadores que se usan no son unánimes en cuanto a las conclusiones que pueden derivarse de su aplicación.

Sin embargo, pareciera que en los estudios más completos disponibles se demuestra que muchos recursos no renovables del mundo se habrían hecho menos escasos en los últimos cien años. Esta conclusión surgiría de la tendencia decreciente del costo real de extracción, pero debería tomarse con suma cautela; ya otros estudios muestran que, aunque el costo de extracción ha disminuido al igual que muchos de los precios de mercado, el costo de uso o de escasez, en cambio, habría aumentado, reflejando de ese modo un creciente agotamiento de las fuentes de origen. También en este tema la mayor parte de los estudios teórico-empíricos se han concentrado en unos pocos países y tipos de recursos. Resta mucho que avanzar en materia de investigación económica.