



Universidad de Valladolid

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Grado en Administración y Dirección de Empresas

La Regla de Hotelling para la Gestión Óptima de Recursos Naturales No Renovables

Presentado por:

Clara González Cabezudo

Tutelado por:

Guiomar Martín Herrán

Valladolid, 27 de Julio de 2015

ÍNDICE.

1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. REVISIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL TEMA.....	3
2.1. LA REGLA DE HOTELLING.	5
2.1.1. Regla de Hotelling con libre competencia.	7
2.1.2. El máximo valor social.....	8
2.1.3. Regla de Hotelling bajo monopolio.....	9
2.1.4. Trayectorias óptimas de extracción y de precios en la industria competitiva.....	9
2.1.5. Trayectorias óptimas de extracción y de precios bajo monopolio.....	17
2.2. COSTES DEPENDIENTES DE LAS RESERVAS.....	19
2.3. EXPLORACIÓN.	20
2.4. LA MEDIDA ECONÓMICA DE LA ESCASEZ.....	21
2.4.1. El reciclaje y la sustitución en los recursos naturales no renovables.....	22
2.5. EL EXCESO DE CRECIMIENTO.....	23
2.5.1. El problema de los recursos naturales no renovables.....	24
2.5.2. Causas, consecuencias y posibles soluciones.....	26
3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	27
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	30
5. WEBGRAFÍA.....	32
6. ACRÓNIMOS.	32
7. ANEXOS.	32
Anexo 1. Diagrama de Caja de McKelvey.....	32
Anexo 2. Índice de gráficos.....	33

1. INTRODUCCIÓN.

Mi elección de este tema sobre los recursos naturales no renovables para la realización del trabajo surge de mi interés por el medio ambiente y de la curiosidad por investigar y ampliar conocimientos sobre él, además del atractivo de conocer en profundidad el problema que representa la escasez de los recursos naturales no renovables en un sistema en el que dependemos en gran medida de ellos para mantener el actual nivel de vida y bienestar que llevamos y disfrutamos en las sociedades desarrolladas.

Con este trabajo se pretende comprender la forma óptima de gestionar los recursos no renovables que permita a la sociedad consumirlos durante el mayor periodo de tiempo posible y que evite que el agotamiento sea repentino para que la población esté preparada a hacerle frente, sin que éste suponga un cambio brusco en los hábitos de vida de las personas.

También se intentará dar luz a las posibles vías para alargar el periodo de vida de los recursos y los métodos que deben seguirse para que cuando estos se agoten la sociedad se encuentre preparada para afrontar la escasez de recursos.

La metodología seguida para la realización de este trabajo se ha basado en la revisión de varios textos sobre medioambiente y economía medioambiental, a partir de los cuales se han analizado los principales problemas de los recursos no renovables y cómo estos se pueden gestionar de una forma eficiente y óptima.

En la primera parte del trabajo se analiza cómo gestionar de manera óptima los recursos naturales no renovables a partir de la Regla de Hotelling, matemática y gráficamente, y desde el punto de vista tanto de un mercado monopolista como de uno competitivo.

Posteriormente, se expone cómo inciden las reservas, la exploración y la escasez de recursos en la gestión y cómo deben de tenerse en cuenta para que la explotación de los recursos se realice de forma óptima, así como la incidencia que tienen el reciclaje y los recursos sustitutivos sobre los recursos no renovables.

Después se explica cómo en un mundo finito el crecimiento no puede ser ilimitado y como, por ello, el crecimiento no debe basarse exclusivamente en la explotación de recursos que son limitados.

Finalmente, se exponen los resultados y las principales conclusiones extraídas de la realización de este trabajo.

2. REVISIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL TEMA.

Un recurso natural es aquél producido por la naturaleza y que es utilizado por las personas bien para su consumo directo o bien para utilizarlo en procesos de producción (Riera et al., 2005). Los recursos naturales no renovables son aquellos que no tienen una regeneración natural a lo largo del tiempo, por ejemplo, los minerales (estaño, níquel, etc.) y los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural), (Reed, 1994) y, por ello, no pueden utilizarse de forma ilimitada por todas las generaciones. Debido a esta limitación debe encontrarse una manera óptima de explotación de estos recursos para poder garantizar la utilización de los mismos de forma equilibrada por parte de todas las generaciones. Esta idea se centra en el concepto de desarrollo sostenible como “aquel que permite satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas” (Comisión Brundtland¹, 1987). De acuerdo con esta definición deberá encontrarse la forma óptima de garantizar un suministro de recursos a las generaciones futuras que las permita poder continuar con el mismo o similar bienestar social del que gozamos actualmente o se gozó en generaciones anteriores, tendiéndose hacia un equilibrio intertemporal (estado estacionario) en el que el nivel de subsistencia y el bienestar social se iguale para todas las generaciones (Gómez, 1994). Si no se logra alcanzar este estado estacionario muchos de los recursos naturales se encontrarán en un grave peligro de extinción (Pearce y Turner, 1995).

Los recursos naturales son uno de los principales motores del crecimiento económico (Riera et al., 2005), así que si alguno llega a agotarse, puede

¹ Formalmente conocida como la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, toma el nombre de Comisión Brundtland por su presidenta, Gro Harlem Brundtland.

suponer un grave problema para la economía. Por ello, se busca la forma óptima de asignación de los recursos no renovables que permita su utilización con una tasa óptima de explotación, de manera que el recurso se vaya extrayendo de la forma más conveniente posible, y a la vez que se maximiza el bienestar social (Pearce y Turner, 1995).

Como señala Reed (1994), los modelos económicos tradicionalmente se han elaborado suponiendo un sistema abierto en el que no hay limitaciones al crecimiento, pero la realidad es justamente la contraria, por lo que esta limitación deberá de tenerse en cuenta a la hora de analizar la gestión de los recursos naturales.

En una situación de competencia perfecta el libre mercado asigna la cantidad y precios óptimos a los que debe consumirse el recurso, pero al producirse ciertos fallos en el mercado esa asignación ya no es óptima (Riera et al., 2005). Los principales fallos que inciden en este reparto son, entre otros, las externalidades y la mala definición de los derechos de propiedad.

Se denomina externalidad a “la actividad de consumo o de producción que produce un efecto indirecto en otra actividad de consumo o de producción que no se refleja directamente en los precios de mercado” (Pindyck y Rubinfeld, 2001). Los productos que tienen costes externos no llegan al mercado con su precio real, sino que para que incluyan la totalidad de los costes, habría que sumar a dicho precio el valor de los costes externos (Riera et al., 2005).

El problema de la mala definición de los derechos de propiedad está ligado a los denominados bienes públicos. Éstos son aquéllos que cumplen con las reglas de no exclusión (no se puede excluir a nadie de su consumo) y no rivalidad (el hecho de que alguien lo esté consumiendo no impide que sea consumido por terceros) y son una de las principales causas de la sobreexplotación de los recursos naturales (Riera et al., 2005).

Para resolver el problema generado por las externalidades Pigou² propuso la utilización de un impuesto por el valor de la externalidad negativa que debería imponerse a los causantes de la misma, para que de esa manera compensaran

² Arthur Cecil Pigou (1877-1959), economista inglés.

a la sociedad por el daño recibido (Riera et al., 2005). Por su parte Coase³ planteó un teorema, que desde entonces lleva su nombre, según el cual bastaba simplemente con definir y proteger los derechos de propiedad y de esa forma el mercado se encargaría de determinar el precio de equilibrio (Azqueta, 1994). Según este teorema cuando las partes afectadas negocian sin incurrir en ningún coste se llega a un resultado eficiente, con independencia de cuál de las partes sea la responsable de la externalidad (Frank, 2001).

2.1. LA REGLA DE HOTELLING.

Uno de los resultados más importantes en la gestión óptima de recursos naturales no renovables se corresponde con la denominada regla de Hotelling, por lo que en este apartado se repasa con cierto detalle esta regla bajo diferentes supuestos.

En 1931, Hotelling⁴ presentó una regla según la cuál se podía alcanzar un nivel óptimo de extracción para los recursos naturales no renovables, donde la producción era siempre positiva para todos los periodos temporales y, además, dicha producción no llevaba a la extinción del recurso en un periodo de tiempo equivalente al necesario para la extracción del mismo (Gómez, 1994).

El propietario del recurso debe decidir cuál será el número de periodos en el que va a dividir la extracción, así como la cantidad a extraer en cada uno de esos periodos, lo que conlleva la determinación del precio del recurso en cada periodo.

De esta manera, la Regla de Hotelling permite encontrar el óptimo de extracción sin agotar las reservas del recurso, a la vez que se maximizan los beneficios del propietario del mismo (Gómez, 1994).

Denotando el tipo de interés por s (que se supone constante durante el horizonte temporal de explotación considerado), el valor presente de una unidad de beneficio después de transcurrir un periodo de tiempo de duración t será e^{-st} . Si P_t denota el precio en el instante t y los costes de extracción son

³ Ronald Harry Coase (1910-2013), premio Nobel de Economía del año 1991.

⁴ Harold Hotelling (1895-1973), matemático, estadístico y economista estadounidense. Uno de sus grandes logros en economía fue el desarrollo de la Regla de Hotelling.

nulos, la regla de Hotelling viene dada por la siguiente ecuación (Hotelling, 1931):

$$P_0 = P_t e^{-st} \quad (1)$$

La ecuación (1) muestra, en un mercado de libre competencia, la relación entre los precios relativos a través del tiempo (Hotelling, 1931). Así, la tasa de rentabilidad del recurso crece a la misma tasa que el tipo de interés, y al crecer el nivel de precios al mismo ritmo que el tipo de interés, el propietario del recurso será indiferente entre explotar el recurso ahora o hacerlo en el futuro (Hotelling, 1931).

La Regla de Hotelling también puede expresarse de forma equivalente como (Gómez, 1994 y Pearce y Turner, 1995):

$$\frac{\dot{P}}{P} = s \quad (2)$$

donde \dot{P} denota la derivada respecto del tiempo de P .

Si se relaja el supuesto de que el coste de extracción es nulo, y se supone un coste constante y positivo, $C(X) = C$ con X denotando el stock del recurso, el precio del suelo será el precio del recurso ya extraído menos el coste de extracción como muestra la siguiente ecuación (Pearce y Turner, 1995):

$$R = P - C(X) \quad (3)$$

donde R representa el precio del suelo, y se denomina renta de escasez temporal (Gómez, 1994).

Dado que el precio deberá igualarse al coste marginal de extracción más la renta de escasez temporal de cada unidad marginal de recurso (Pearce y Turner, 1995), en cada instante t el precio vendrá dado por:

$$P_t = C_t + R_t \quad (4)$$

Teniendo en cuenta, por tanto, el coste de extracción del recurso, la Regla de Hotelling vendrá dada por la siguiente ecuación:

$$s = \frac{\dot{P}}{P - C} \quad (5)$$

Teniendo en cuenta la ecuación (3), la ecuación (5) puede expresarse también de la siguiente manera:

$$s = \frac{\dot{P}}{R} \quad (6)$$

Además, la variación temporal de la renta del recurso coincide con la del precio del mismo, $\dot{P}=\dot{R}$, y reescribiendo el lado izquierdo de la ecuación (6), la nueva expresión de la Regla de Hotelling sería:

$$s = \frac{\dot{P}}{R} = \frac{\dot{R}}{R} \quad (7)$$

En conclusión, la ecuación (2) recoge el uso óptimo del recurso sin costes de extracción, mientras que la ecuación (7) recoge este uso cuando se consideran costes de extracción.

2.1.1. Regla de Hotelling con libre competencia.

Generalmente se supone que el propietario de un yacimiento busca la maximización del valor actual de todos sus beneficios (tanto presentes como futuros) (Hotelling, 1931). Para que el nivel de extracción sea el óptimo, como ya se ha señalado anteriormente, el recurso debe extraerse de tal manera que la tasa de crecimiento de los precios sea igual a la tasa de descuento de los beneficios futuros. De este modo el propietario será indiferente entre extraer ahora el recurso o dejar que éste permanezca en su estado natural (Pearce y Turner, 1995), lo que se consigue con la regla de Hotelling.

Para que se cumpla la igualdad de ecuación (1), hay que determinar el precio inicial del recurso, ya que si éste no está bien determinado no se conseguirá que el agotamiento del recurso se dé en el momento exacto en el cual el precio del recurso coincida con el precio de la tecnología de sustitución (el recurso debe agotarse exactamente en este instante, ya que de este modo el paso de una tecnología a otra no supondrá ningún coste extra para los consumidores ni un salto elevado en el cambio del precio del recurso en el momento del agotamiento al precio de la nueva tecnología de sustitución, al encontrarse igualadas dichas cantidades).

En este caso el precio (P) lleva incluido el coste de extracción (Hotelling, 1931), por lo que se corresponderá con el de la ecuación (4), donde C_t es una cantidad no nula y positiva.

El precio inicial del recurso (P_0) dependerá de la demanda del mismo y de la cantidad total del recurso (Hotelling, 1931). La cantidad demandada (q) es una función del precio y el tiempo, y viene dada por la siguiente expresión:

$$q = f(P, t) \quad (8)$$

Sobre todo el intervalo temporal de explotación del recurso $[0, T]$, la cantidad total ofertada del recurso (a) vendrá determinada por la siguiente integral:

$$\int_0^T q \, dt = \int_0^T f(P_0 e^{st}, t) \, dt = a \quad (9)$$

donde T es el momento en el cual el recurso se agota completamente.

Como en el tiempo T , la demanda es igual a 0, puede determinarse este tiempo a partir de la siguiente ecuación:

$$f(P_0 e^{st}, T) = 0 \quad (10)$$

A partir de la función de demanda y una vez determinada la cantidad total del recurso puede establecerse el valor óptimo de P_0 para el cual la extracción del recurso es óptima, y que además logra el agotamiento del mismo en el preciso instante en que su precio coincide con el precio de la tecnología de reemplazo.

2.1.2. El máximo valor social.

La regla de Hotelling describe la trayectoria de precios de equilibrio, y también es la trayectoria óptima para los propietarios, ya que les permite maximizar el valor presente de todos sus beneficios, tanto presentes como futuros (Riera et al., 2005). En una situación de competencia perfecta se tiende a maximizar el valor social del recurso (Hotelling, 1931).

Los precios obtenidos con la Regla de Hotelling serían los mismos que se desearían tener de manera que se lograra maximizar el bienestar social de la sociedad a lo largo del tiempo, distribuido éste entre todos los periodos temporales (Pearce y Turner, 1995). Para que el bienestar sea igual en todos los periodos temporales debe de cumplirse la ecuación (1).

El valor social del recurso (o utilidad total) queda reflejado en la siguiente integral (Hotelling, 1931):

$$u(q) = \int_0^q P(q) dq \quad (11)$$

La función de utilidad es una función decreciente con la cantidad demandada del recurso, ya que la utilidad será menor conforme la cantidad consumida del recurso vaya aumentando, donde el límite superior muestra la cantidad de recurso que se encuentra en el mercado.

Si el bienestar futuro se descuenta a la tasa de interés s , el valor presente viene dado por:

$$V = \int_0^T u[q(t)] e^{-st} dt \quad (12)$$

donde $q(t)$ es la cantidad explotada del recurso en cada momento temporal, y si se produjera un aumento de una unidad en q en un cierto instante temporal distinto a $t=0$, ese incremento se vería reflejado en el valor social no sólo de ese momento concreto sino también en el presente (Hotelling, 1931).

2.1.3. Regla de Hotelling bajo monopolio.

En situación de monopolio, se pretende determinar la cantidad óptima a extraer (q) como una función dependiente del tiempo, $\int_0^\infty q dt = a$, donde a es la oferta total del recurso. Por ello, se deberá maximizar el valor presente del propietario de los beneficios, trayendo al momento $t=0$ todos los beneficios futuros, teniendo en cuenta la condición anterior (Hotelling, 1931), de la forma:

$$J = \int_0^\infty qP(q) e^{-st} dt \quad (13)$$

Aunque la explotación del recurso únicamente se dé durante un intervalo de tiempo finito $[0, T]$, para todo $t > T$ se supone que la producción es nula.

2.1.4. Trayectorias óptimas de extracción y de precios en la industria competitiva.

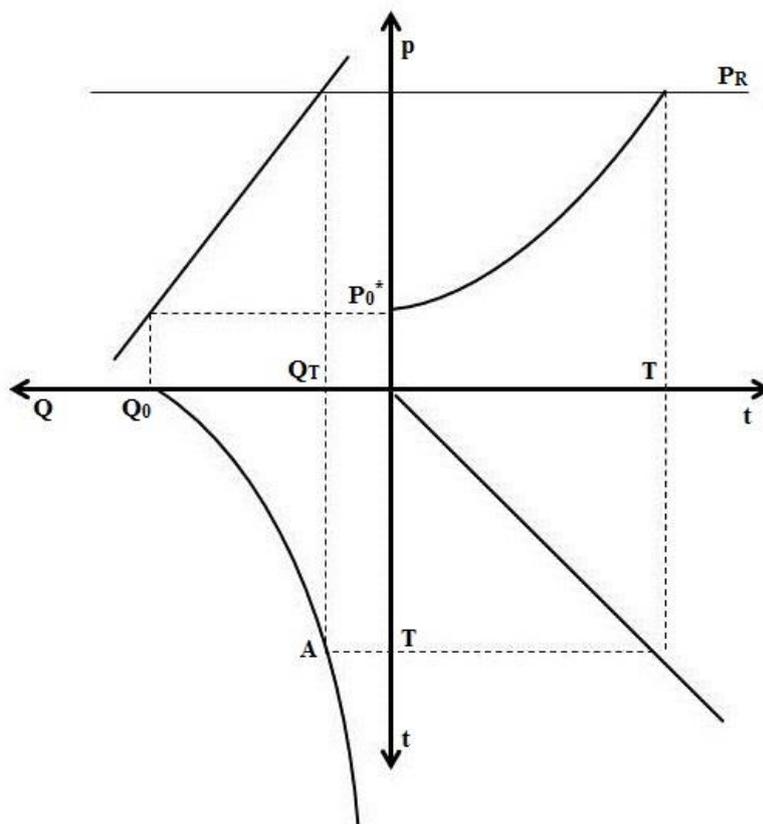
Las explicaciones e interpretaciones que se recogen en este apartado y en el siguiente (2.1.5. Trayectorias óptimas de extracción y de precios bajo monopolio.) están inspiradas en gran medida en Gómez (1994).

Una forma rápida de comprender el funcionamiento y objetivo de la Regla de Hotelling es mediante su análisis gráfico. En el Gráfico 2.1 puede observarse lo que sucede bajo el supuesto de competencia perfecta.

En el cuadrante I del Gráfico 2.1 se muestra el precio del recurso en cada momento de tiempo, partiendo de un precio inicial (P_0) y llegando a su precio máximo en P_R (precio de la tecnología de reemplazo), momento que coincide en el tiempo (T) con el agotamiento del recurso (Gómez, 1994).

La trayectoria de precios está representada con esa pendiente ya que, como se ha señalado en el apartado 2.1, ecuación (2), los precios van aumentando progresivamente con el paso del tiempo a un ritmo igual al de la tasa del tipo de interés (s) (Pearce y Turner, 1995).

Gráfico 2.1. Presentación gráfica de la Regla de Hotelling.



Fuente: Gómez (1994).

Ese precio máximo para el cual el recurso llega a agotarse coincide con el precio de la tecnología sustitutiva, o también puede interpretarse como el

precio en el que el recurso alcanza niveles prohibitivos (Gómez, 1994). En el análisis que sigue se considera la primera interpretación.

Para que el recurso se agote justo en el momento que su precio alcanza el de la tecnología de sustitución es preciso establecer correctamente el precio del instante inicial ($t=0$), ya que si éste es demasiado alto o demasiado bajo el recurso se agotará antes de llegar a dicho precio, o no llegará a agotarse completamente, porque se alcanzará el precio de la tecnología de reemplazo antes del agotamiento y seguirá habiendo un stock del recurso positivo que ya no será explotado. Este precio posibilita la transición de una tecnología a otra de la forma más suave posible al no provocar alteraciones fuertes en dicha cantidad.

Como conclusión puede deducirse que solamente se consigue una extracción óptima de los recursos a través de un único precio inicial.

El cuadrante superior izquierdo representa la función de demanda del recurso en cuestión y muestra la cantidad que los compradores están dispuestos a consumir para cada diferente nivel de precios. Esta función de demanda es una función convencional, si bien se encuentra representada de forma inversa.

El cuarto cuadrante simplemente es un ángulo de 45° que traslada de un eje a otro la variable tiempo.

Y por último, en el cuadrante III se muestra la trayectoria óptima de explotación del recurso. En él se observa la cantidad óptima que debe explotarse en cada momento de tiempo. Para que el agotamiento del recurso se produzca en el instante preciso la cantidad explotada tendrá que disminuir según pasa el tiempo, acorde al aumento paulatino de los precios.

El área por debajo de la trayectoria de explotación muestra la cantidad acumulada del recurso consumida hasta cada instante t , llegando ésta a igualarse con la cantidad total de existencias de dicho recurso en el instante T (Pearce y Turner, 1995).

Si bien esta exposición gráfica puede parecer muy sencilla de aplicar, puede resultar demasiado teórica y pueden presentarse ciertos problemas que dificulten la consecución del objetivo (la explotación óptima de los recursos

naturales no renovables). Al realizar este análisis se toman como válidas ciertas hipótesis que no tienen por qué cumplirse siempre (Gómez, 1994):

- Las circunstancias en las que se define la trayectoria de explotación se consideran constantes a lo largo del tiempo.
- El precio de la tecnología de reemplazo y el tipo de interés se toman constantes, cuando ambas cantidades en la realidad pueden variar con mucha frecuencia.
- La estimación fiel de la demanda de un recurso es complicada, sobre todo cuanto mayor es el horizonte temporal a tener en cuenta. La información de la que se dispone no es perfecta, por lo que se desconocen la calidad y cantidad exacta de las reservas disponibles.

La trayectoria de eficiencia, por lo tanto, no es invariable y puede sufrir alteraciones cuando se producen cambios en algunas de las variables que inciden sobre ella.

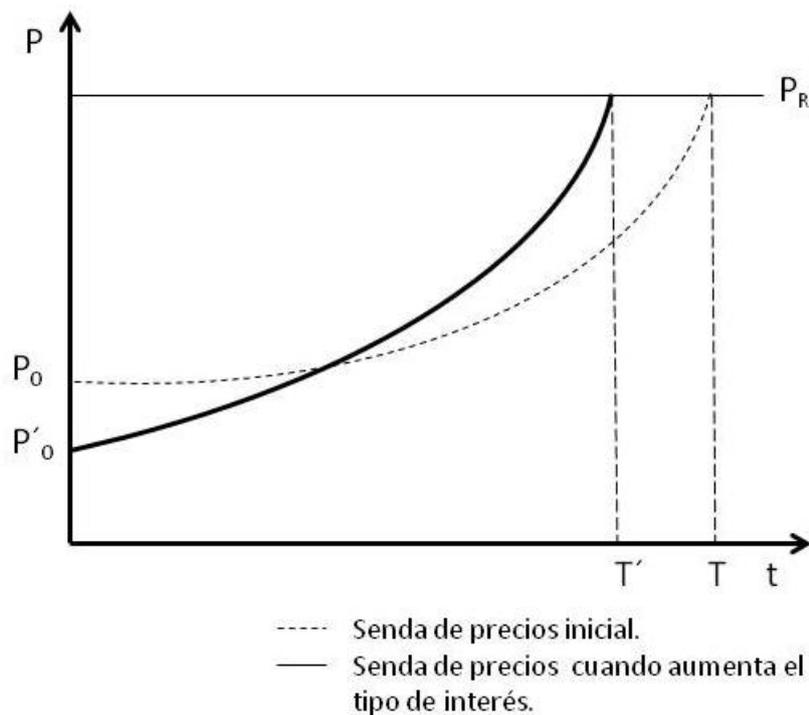
Con la ayuda de los siguientes gráficos se analizan los cambios que sufriría la trayectoria óptima de los precios ante posibles modificaciones en: primero, el tipo de interés; segundo, el precio de la tecnología de reemplazo; tercero, los costes de extracción; cuarto, el stock del recurso; y quinto, la demanda del bien.

Variación del tipo de interés.

En el Gráfico 2.2 se muestra el cambio de la trayectoria de precios al sufrir una variación en el tipo de interés, en este caso sería un aumento del mismo.

Al aumentar el tipo de interés la pendiente ahora será más pronunciada, por lo que si P_0 no fuera modificado se lograría alcanzar el precio de la tecnología de sustitución antes de conseguir el agotamiento del recurso (Pearce y Turner, 1995). Para continuar consiguiendo la extracción óptima el precio inicial, en este caso, deberá de ser inferior al que había inicialmente, alcanzándose antes al agotamiento del recurso (T' menor que T en el Gráfico 2.2).

Gráfico 2.2. Cambios en la trayectoria de precios al variar el tipo de interés.

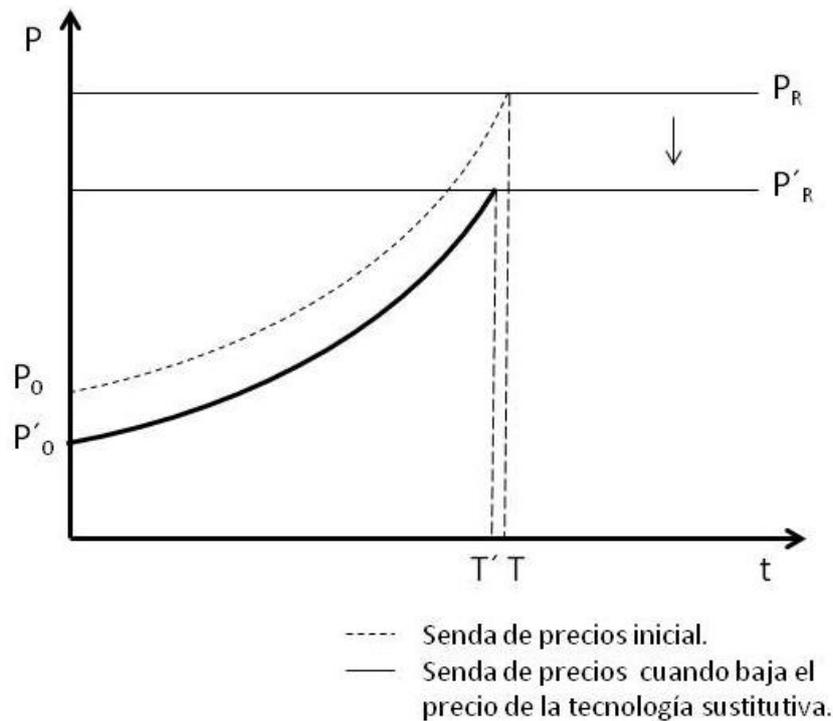


Fuente: Gómez (1994).

Cambios en el precio de la tecnología de sustitución.

El precio de la tecnología de reemplazo puede cambiar por dos razones: la aparición de una nueva tecnología o un abaratamiento de otra ya existente (Riera et al., 2005). El precio de la tecnología de reemplazo puede disminuir gracias a los avances tecnológicos, aunque también sería posible que ocurriera lo contrario, siendo menos frecuente esta segunda situación (Pearce y Turner, 1995). En el Gráfico 2.3 el precio de esta tecnología disminuye de P_R a P'_R . Si la senda de precios no se modificase se alcanzaría el precio de la tecnología de sustitución antes de conseguir el agotamiento del recurso. Para que la extracción siga siendo óptima, el nuevo precio inicial del recurso, P'_0 , debe de ser menor al original, P_0 , lo que provocará que el recurso se agote antes de lo que ocurría previamente al cambio en el precio de la tecnología de sustitución ($T' < T$ en el Gráfico 2.3).

Gráfico 2.3. Cambios en la trayectoria de precios ante variaciones en el precio de la tecnología de sustitución.

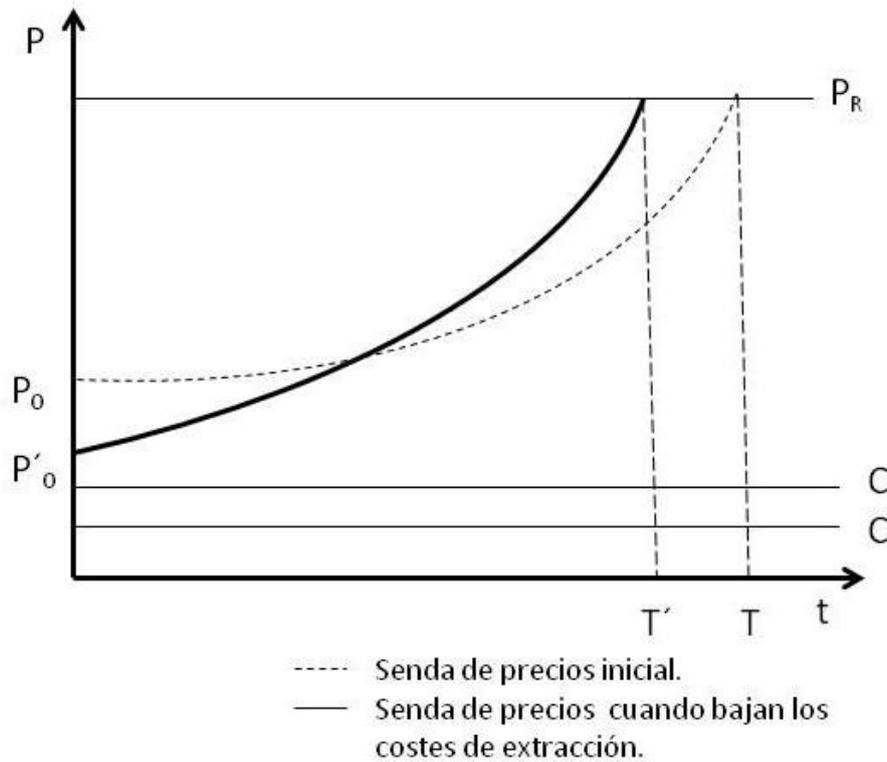


Fuente: Gómez (1994).

Cambios en los costes de extracción.

En este caso se supone que los costes constantes de extracción disminuyen respecto a los iniciales ($C' < C$ en el Gráfico 2.4). Si P_0 , pese a todo, se mantiene constante y no se tiene en cuenta esa rebaja en los costes de extracción, el precio del recurso aumentaría al mismo nivel que la tasa de descuento y se alcanzaría el precio P_R antes de lo previsto (Pearce y Turner, 1995), provocando que un excedente del recurso permaneciera sin explotar y que no se lograra la gestión óptima del mismo. Por otro lado, si el precio varía hasta la nueva posición óptima inicial, pero la pendiente de la trayectoria de precios se mantiene invariable, al disminuir el coste de extracción, el recurso se agotaría en el momento T sin haber logrado alcanzar el precio de la tecnología de sustitución (Riera et al., 2005). Por lo tanto, para que la trayectoria de precios siga siendo óptima, el precio inicial debe de ser inferior (P'_0 es menor a P_0 en el Gráfico 2.4) y la pendiente mayor, lo que implica que el recurso se agotará en un tiempo menor al estimado inicialmente.

Gráfico 2.4. Cambios en la trayectoria de precios ante variaciones en los costes de extracción.

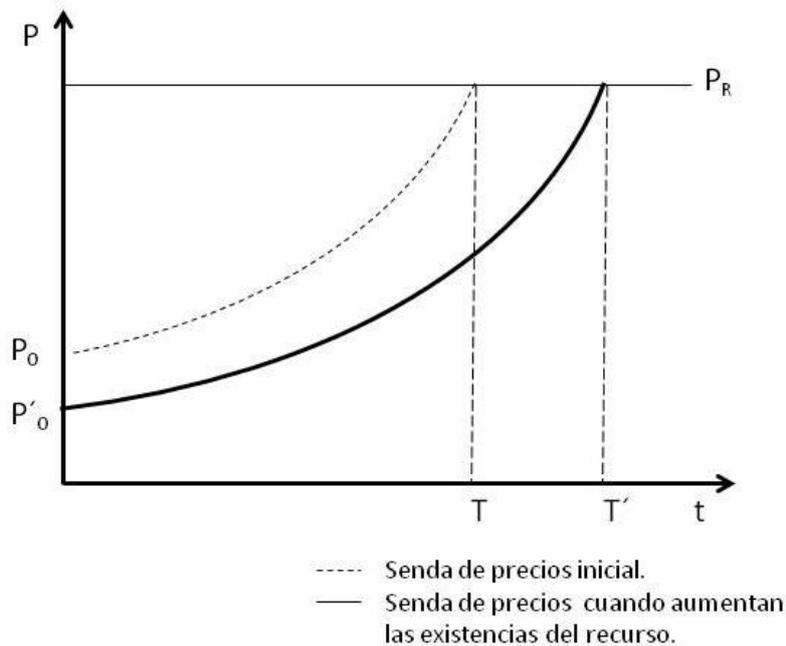


Fuente: Gómez (1994).

Variación de las existencias.

En el Gráfico 2.5 se muestra el cambio en la trayectoria de precios al producirse un aumento de las existencias disponibles del recurso, como consecuencia, por ejemplo, de descubrirse un nuevo yacimiento. Si la demanda del recurso permanece constante y no provoca un nuevo cambio, la trayectoria de precios inicial dejará sin explotar cierta cantidad del recurso (Pearce y Turner, 1995), por lo que el precio inicial del recurso debe disminuir (de P_0 a P'_0 en el Gráfico 2.5), lo que implica un mayor valor de T , y por tanto, un agotamiento más tardío del recurso.

Gráfico 2.5. Cambios en la trayectoria de precios al variar las existencias del recurso.



Fuente: Gómez (1994).

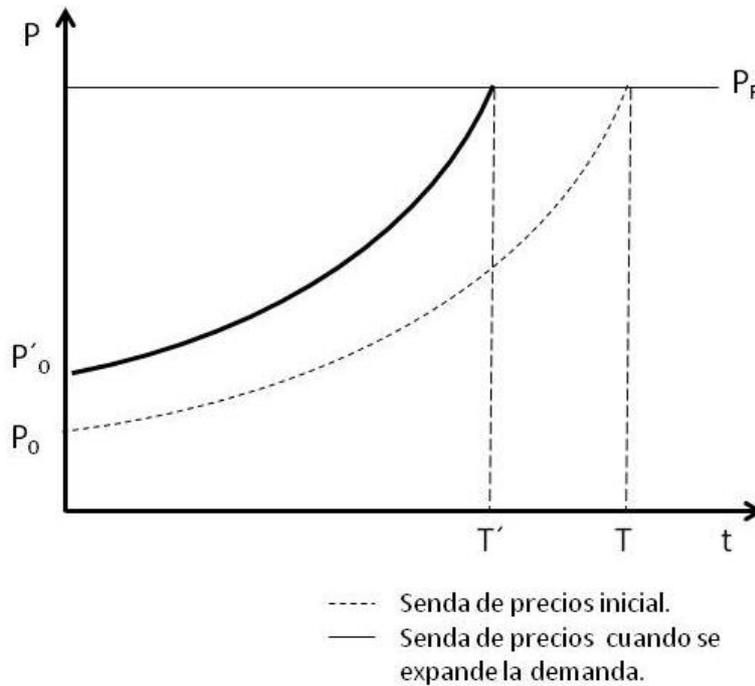
Cambios en la demanda.

Hasta ahora, en todos los análisis realizados anteriormente, se ha considerado que la curva de demanda no sufría ningún tipo de alteración ante los posibles cambios en las diversas variables y parámetros (Pearce y Turner, 1995). Ahora, sin embargo, se estudia qué es lo que pasaría si ocurre justamente eso, un cambio en la demanda. La demanda puede variar a causa, por ejemplo, de cambios en las preferencias, de la aparición de productos sustitutivos, etc.

Se pueden dar dos tipos de alteraciones, que la demanda se expanda o que se contraiga. En el segundo caso, el efecto sería el mismo al de una situación de un aumento de las existencias del recurso (análisis recogido en el Gráfico 2.5). Si por el contrario, se produce una expansión de la demanda, lo que conlleva que aumenten los niveles de extracción, esto provoca un agotamiento más temprano del recurso, que hace que la curva de precios se desplace hacia “arriba” induciendo un aumento de los precios y disminuyendo así la cantidad extraída y demanda (Pearce y Turner, 1995), la curva de demanda se desplazaría hacia afuera. El resultado se muestra en el Gráfico 2.6. El precio experimentará una subida en comparación con el que había antes del

desplazamiento de la curva de demanda debido a una expansión de esta última y el tiempo de explotación del recurso ahora será menor ($T' < T$ en el Gráfico 2.6).

Gráfico 2.6. Cambios en la trayectoria de precios ante variaciones en la demanda.



Fuente: Gómez (1994).

Estos serían todos los cambios posibles con sus respectivas transformaciones que podrían alterar la trayectoria de precios de los recursos no renovables, y por consiguiente, también se modificarían sus correspondientes trayectorias de explotación.

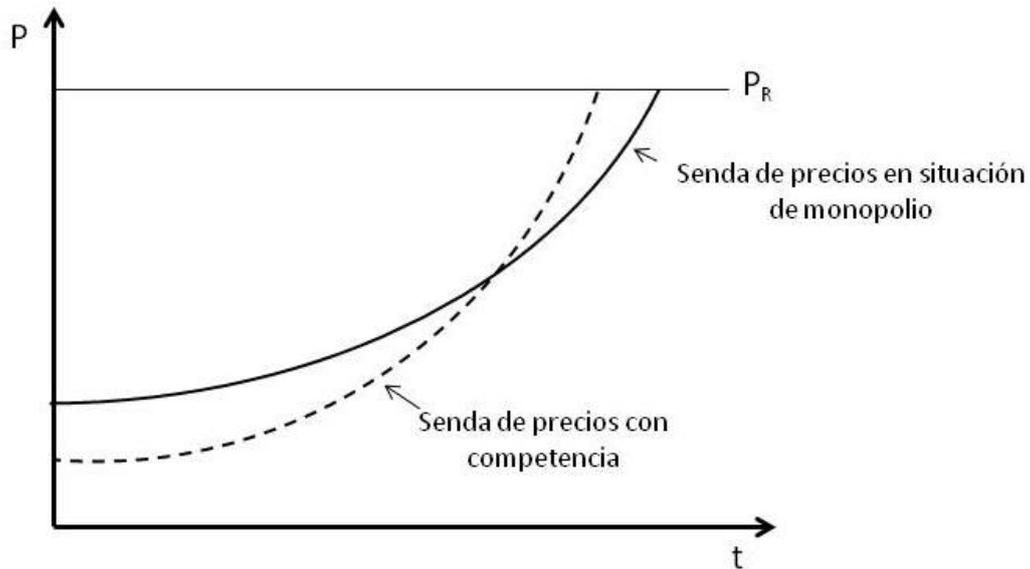
2.1.5. Trayectorias óptimas de extracción y de precios bajo monopolio.

La tendencia del monopolista será la de producir por debajo del óptimo bajo competencia y exigir un precio mayor al del libre mercado, por lo que el recurso se preservará, de este modo, un mayor periodo de tiempo (Hotelling, 1931). Esta afirmación queda reflejada en el Gráfico 2.7.

Como conclusión puede establecerse que en una situación de monopolio se incrementa la duración del recurso para que el propietario pueda alcanzar un

mayor beneficio, al ser los precios superiores a los de la situación de libre competencia.

Gráfico 2.7. Comparación de las trayectorias de precios bajo monopolio y competencia.



Fuente: Pearce & Turner, (1995).

El Gráfico 2.8 muestra la representación completa de cómo funciona la regla de Hotelling bajo monopolio. Así, muestra no sólo el cambio en la trayectoria de precios, sino también la alteración que éste provoca sobre la trayectoria de explotación.

Esta perturbación en la trayectoria de precios provoca, por un lado, una subida del precio inicial y por otro, alarga la vida del recurso, implica una traslación de la trayectoria óptima de explotación, que ahora hace que la cantidad inicial consumida sea menor, al ser el precio inicial más elevado.

La trayectoria de precios bajo esta situación de monopolio también puede sufrir todas las alteraciones enumeradas y explicadas en el apartado anterior (2.1.4. Trayectorias óptimas de extracción y de precios en la industria competitiva.) provocando las mismas perturbaciones que se daban en la situación de libre competencia.

recurso optará por extraer la totalidad del mismo en el momento inicial debido a que esto le reporta un mayor beneficio.

Para que el propietario decida aplazar la extracción del recurso y conservarlo ocioso durante un cierto periodo de tiempo éste debe revalorizarse (su precio aumenta con el paso del tiempo), y así el propietario puede alcanzar un beneficio mayor conservando el recurso y explotándolo más adelante (Gómez, 1994). Incorporando el planteamiento de la regla de Hotelling, según el cual el propietario es indiferente entre extraer el recurso en el momento actual o conservarlo para extraerlo más adelante, dicha revalorización deberá de ser igual a la del tipo de interés, para que el beneficio obtenido por la extracción sea el mismo independientemente de cuando se realice ésta.

2.3. EXPLORACIÓN.

En el apartado 2.1. La regla de Hotelling se considera que el stock del recurso es una cantidad fija y finita que es conocida por el propietario del recurso, pero existe la posibilidad de que esa cantidad varíe y que aumente el stock explotable del recurso, cambiando así tanto el precio inicial del recurso como el periodo de tiempo necesario para la completa explotación del mismo.

De esta forma parece que el recurso se vuelve “renovable”, pero no en la misma forma que ocurre con los recursos biológicos que sufren una renovación del recurso dependiendo de su stock, sino que esta renovación depende de la cantidad de esfuerzo que se dedique a la exploración (búsqueda de nuevas explotaciones de recursos desconocidas en la actualidad) (Ferreiro, 1994).

La función de exploración del recurso, $E(t)$, será una función dependiente del trabajo y capital invertido en dicha exploración (L), así como de los anteriores descubrimientos acumulados (K) y del tiempo (Ferreiro, 1994):

$$E(t) = E[L(t), K(t), t] \quad (14)$$

Con esta formulación se supone que todo el esfuerzo dedicado a la exploración genera unos resultados ciertos y no se está teniendo en cuenta que llegará un momento en el que por muchos recursos que se destinen a la exploración no se podrá encontrar ninguna explotación nueva, debido a que ya no quedará ninguna por descubrir. Por esta razón, Ferreiro (1994) considera que esta

actividad de exploración es una actividad de riesgo, por lo que habría que añadir a la función de exploración un término nuevo que valore la incertidumbre del proyecto.

2.4. LA MEDIDA ECONÓMICA DE LA ESCASEZ.

Pearce y Turner (1995) identifican dos perspectivas diferentes para reconocer la escasez de un recurso, la perspectiva Malthusiana y la Ricardiana. Desde la perspectiva Malthusiana el determinante de la escasez es el límite físico absoluto de los recursos no renovables, el cual limita el crecimiento futuro; mientras que con la perspectiva Ricardiana el determinante de la escasez es el “efecto agotamiento” de la explotación de dicho recurso y se refleja en la elevación de precios y costes a lo largo del tiempo según va disminuyendo la cantidad del recurso.

Aunque se puede conocer el stock exacto de un depósito concreto no se asume con exactitud el nivel global de existencias (Romero, 1997). Por ello, para poder medir físicamente la escasez se deben tener en cuenta las estimaciones de reservas realizadas sobre los recursos y éstas se deberán relacionar, además, con el nivel de demanda (Pearce & Turner, 1995). Las estimaciones sobre el tamaño de las reservas se encuentran en constante revisión, en el Anexo 1 se recoge el diagrama de Caja de McKelvey⁵ que muestra la jerarquización de las reservas a tener en cuenta a la hora de realizar dichas estimaciones.

Los recursos naturales no renovables tienen la peculiaridad de que la cantidad a extraer en el futuro es dependiente de la cantidad extraída en el presente, por lo que si una unidad de recurso se extrae en el momento $t=0$ se pierde la oportunidad de que sea extraída más adelante, lo cual condiciona al bienestar social y al beneficio del propietario del recurso (Riera et al., 2005). Las decisiones que se tomen en el presente, por tanto, estarán relacionadas con todas aquellas decisiones tomadas en el pasado, así como con las expectativas de los precios y de los costes futuros (Pearce & Turner, 1995).

⁵ Vicente Ellis McKelvey (1916-1987), geólogo americano que elaboró la Caja de McKelvey utilizada para clasificar los recursos naturales no renovables.

La extracción del recurso tiene vinculados unos costes de oportunidad por renunciar a la extracción del mismo en el futuro. Ese coste de oportunidad se refiere a los beneficios que se podrían obtener de la extracción y venta de dicho recurso en un periodo posterior, el cual se denomina renta de escasez y se determina por la diferencia entre el precio en el momento temporal correspondiente y el coste de extracción (Riera et al., 2005), (este coste de oportunidad está reflejado en la ecuación $R = P - C(X)$

(3)), que muestra como la escasez se refleja en los costes y en los precios relativos del recurso (Pearce y Turner, 1995).

Para Riera et al. (2005), otra forma de entender la renta de escasez sería como un coste externo que recae sobre los futuros consumidores del recurso, ya que serán ellos los que deberán pagar ese precio superior.

Si no se tuviera en cuenta la renta de escasez se estaría incurriendo en una sobreexplotación del recurso, provocando que éste se agotara de una forma prematura, por lo que es importante incluir siempre estos costes como un componente de los costes de extracción (Riera et al., 2005).

2.4.1. El reciclaje y la sustitución en los recursos naturales no renovables.

Para poder optimizar la gestión de los recursos, Ortiz (1993) identifica las siguientes tres vías de actuación. Primera, optar por consumir lo mínimo posible de las sustancias más escasas durante los procesos industriales; segunda, investigar sobre posibles sustancias sustitutivas; y tercera, desarrollar procesos de reciclado y recuperación.

La escasez de recursos conduce a un aumento de los precios, lo que provoca que se opte por el reciclaje y los recursos sustitutivos como medida contra la escasez y para ayudar a la conservación del recurso durante un mayor periodo de tiempo.

Para Pearce y Turner (1995) los factores más importantes que causan la sustitución de un recurso por otro son los precios relativos de los materiales, el cambio en la tecnología y las regulaciones gubernamentales.

No todos los recursos naturales no renovables pueden ser recuperados mediante el reciclaje (los combustibles fósiles, por ejemplo, no pueden ser

recuperados) una vez utilizados durante un proceso de producción (Riera et al., 2005). Además, hay grandes cantidades de recursos que son desechadas y no se reciclan, a pesar de que se podrían recuperar físicamente, debido a su alto coste, superior al del recurso recuperado (Pearce y Turner, 1995).

A medida que la cantidad de reservas del recurso vaya disminuyendo su coste irá aumentando, lo que hará que el precio del recurso reciclado sea más competitivo y pueda competir con el que proviene de la extracción (Riera et al., 2005). De esta manera, los consumidores podrán decidir entre consumir el recurso originario de la extracción o el proveniente del reciclaje, implicando la primera opción el agotamiento del recurso, y la segunda, la preservación del mismo (Romero, 1997).

El reciclaje hace que el recurso se utilice durante un periodo de tiempo superior al que habría en un escenario sin él, provocando un aumento de la oferta del recurso, y por lo tanto, un descenso de los precios con respecto a los que habría en un escenario sin reciclaje (Riera et al., 2005).

La gran ventaja del reciclaje es, por tanto, que permite alargar la vida del recurso por encima de la que tendría sin la reutilización del mismo, al poder recuperar un cierto porcentaje del recurso ya utilizado anteriormente (nunca se puede recuperar el 100% del mismo) (Riera et al., 2005 y Pearce y Turner, 1995).

2.5. EL EXCESO DE CRECIMIENTO.

Como ya se ha dicho al inicio de la sección segunda de este trabajo los recursos naturales, y los no renovables en particular, se consideran unánimemente grandes impulsores del crecimiento económico y del desarrollo, por lo que parece obvio que la escasez o una mala gestión de los mismos que provoque un agotamiento prematuro afectará a ese crecimiento. En este apartado se analizará como incide la escasez de recursos y su gestión en el crecimiento de la economía.

A partir de los años 50 la calidad de vida, el crecimiento económico y el desarrollo han ido mejorando, y esa mejora se debe en gran medida al uso intensivo de materias primas y energía (Comisión Brundlant, 1987). Pero no

debe olvidarse que la biosfera de la Tierra es limitada, por lo que el consumo de recursos procedentes de ella también será limitado.

Son numerosos los autores⁶ que han señalado que para lograr un desarrollo sostenible se tiene que alcanzar una situación estacionaria en la que el crecimiento económico sea cero y se logre un desarrollo sin crecimiento. Actualmente se está dando un crecimiento exponencial, el cual no puede permanecer indefinidamente en un mundo en el que existen limitaciones físicas al crecimiento (Meadows et al., 1972 y 1992). Los límites máximos de desarrollo global vendrán dados por la disponibilidad de recursos y por la capacidad de absorción de los subproductos y residuos por la biosfera (Comisión Brundlant, 1987).

La búsqueda de la sostenibilidad local (en zonas urbanas, industriales, etc.) de ciertas regiones ha desembocado en una insostenibilidad global causada por los procesos de vertido, apropiación y elaboración (Naredo, 1999). Además debe tenerse en cuenta el hecho de que las desigualdades Norte-Sur se agravan por los vertidos y extracciones que se producen en las zonas del Sur para abastecer el consumo del Norte, que hacen que el modelo actual de bienestar del Norte agrave el *malestar* del sur (Naredo, 2006).

2.5.1. El problema de los recursos naturales no renovables.

En este apartado se hace una distinción entre dos grupos de recursos no renovables para facilitar el análisis de los mismos. Por un lado, se analizan los recursos naturales no renovables destinados a producir energía (combustibles fósiles); y por otro lado, se estudian el resto de materiales no renovables.

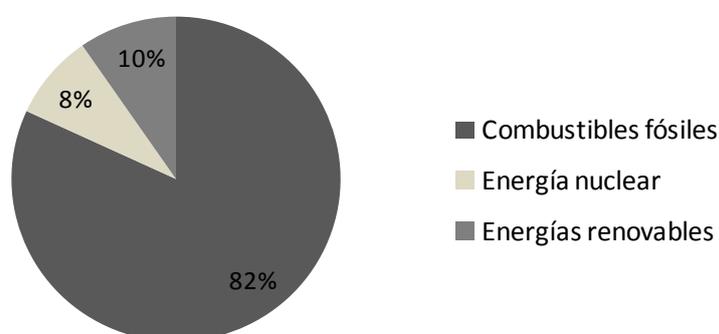
En primer lugar, se consideran los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), los cuales son una de las fuentes de energía principales, aunque también hay otras fuentes como la energía nuclear, la madera y las energías solar o eólica, etc. (Comisión Brundlant, 1987). Más del 80% de la energía

⁶ John Stuart Mill ya había hablado sobre la necesidad de alcanzar un estado estacionario en *Principios de Economía Política* (1848) (consultada una edición de 2008), posteriormente Meadows lo hace en *Los Límites del Crecimiento* (1972) y *Más Allá de los Límites del Crecimiento* (1992) y Naredo en *Raíces Económicas del Deterioro Ecológico y Social* (2006), entre otros.

consumida mundialmente procede de los combustibles fósiles, como muestra el Gráfico 2.9.

Al proceder las principales fuentes de energía de los recursos no renovables y ser ésta necesaria para sobrevivir en el planeta, el futuro energético deberá de planificarse basándose en recursos renovables que no tengan limitaciones de abastecimiento, además de ser menos contaminantes y generar menos residuos (Meadows et al., 1992), ya que las limitaciones existentes para el uso de los combustibles fósiles son tanto las fuentes como los sumideros.

Gráfico 2.9. Consumo mundial de energía en el año 2014.



Fuente: U.S. Energy Information Administration. Elaboración propia.

La solución principal para resolver el problema de los combustibles fósiles propuesta por Meadows et al. (1992) tiene dos vertientes. Por una parte, aumentar la eficiencia de los recursos no renovables utilizados; y por otra parte, sustituir paulatinamente estas energías por las renovables (sin olvidar que éstas también tienen ciertas limitaciones y que aunque son más sostenibles también provocan daños).

En segundo lugar, se analizan los materiales no usados para producir energía, como cemento, metales o plástico, por ejemplo. Estos no se transforman en gases una vez consumidos, como ocurre con los combustibles fósiles, por lo que el tratamiento posterior de estos materiales supone un problema de acumulación de desperdicios, a no ser que sean reciclados (Meadows et al., 1992).

Al contrario que los combustibles fósiles, el consumo global de minerales permanece casi constante, por lo que el agotamiento de los minerales no energéticos no supone un problema tan inmediato (Comisión Brundlant, 1987).

La solución de la escasez en los materiales no afecta únicamente al reciclaje, sino que pasa por mejorar la eficiencia de los mismos, así como alargar la vida de los productos finales y reducir la fuente de los productos (elaborar el mismo trabajo con una cantidad menor de material) para poder así aumentar la vida de los productos y disminuir la cantidad de desperdicios, ya que las mayores cantidades de desperdicios se producen en la manufactura y la extracción (Meadows et al., 1992).

2.5.2. Causas, consecuencias y posibles soluciones.

Según el famoso trabajo de Meadows et. al. (1992), los principales causantes de este crecimiento excesivo son las tendencias de crecimiento exponencial de la poblacional mundial, la industrialización, el consumo, la extracción de recursos, la contaminación ambiental y la producción de alimentos.

Estos autores consideran que si se sigue con esta trayectoria los límites del crecimiento llegarían en unos 100 años, pero determinan que esas tendencias pueden ser alteradas y puede establecerse una estabilidad, tanto económica como ecológica que se mantenga en el tiempo, y señalan que cuanto antes se trabaje en lograr esa estabilidad mayor será la probabilidad de éxito.

Naredo (1999) considera el calentamiento global y el agujero de la capa de ozono como los dos fenómenos irreversibles que han causado el mayor deterioro en la habitabilidad del planeta, pero no son los únicos problemas ambientales graves, hay más, como la pérdida de diversidad biológica o la contaminación atmosférica, entre otros.

El medioambiente es una cuestión política íntimamente ligada a la relación entre desarrollo y medioambiente (Parra, 1993) que, además, está generando desigualdades entre las sociedades desarrolladas y subdesarrolladas.

El informe Brundlant (1987) determina que deben establecerse diversas estrategias que permitan que las naciones se aparten de sus procesos destructivos de crecimiento y desarrollo y que continúen por una senda de desarrollo más duradero.

Para alcanzar una sociedad sostenible deben solucionarse los problemas relacionados con el agotamiento de los recursos no renovables, con la regeneración de los renovables y con la capacidad del planeta para absorber los residuos, y Meadows et al. (1992) proponen seguir las siguientes vías para poder conseguirlos: incluir los costes medioambientales en los productos e informar a la población sobre las condiciones en las que se encuentra el medioambiente; ser más flexibles y rápidos a la hora de detectar y solventar un problema; usar los recursos no renovables lo mínimo posible; explotar los recursos renovables al ritmo de regeneración; maximizar la eficiencia en todo el proceso productivo; y controlar el crecimiento de la población y del capital físico.

Aunque la OCDE o el FMI (entre otros) se preocupan de solventar la problemática ambiental, de momento no se ha logrado resolver el problema a nivel global, ya que siguen aumentando las emisiones de residuos y las extracciones de recursos a escala planetaria (Naredo, 2006).

3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

El principal problema que se detecta al analizar el tema de los recursos naturales no renovables es el de la escasez de los mismos. Es obvio que existe una cantidad finita de existencias de estos recursos, lo que conlleva que en un determinado periodo de tiempo se llegue a su agotamiento. Actualmente se oye hablar con frecuencia del pico del petróleo (momento en el que se alcanza la tasa de extracción máxima) y como éste puede haber sido ya rebasado o sino estar próximo (Turiel, 2010), y por lo tanto, se está más cerca de su colapso. Sin embargo, no es el petróleo el único recurso que se encuentra en peligro de extinción, sino que lo están todos los recursos no renovables, aunque al ser los combustibles fósiles los más consumidos también son los que más preocupan a la población por su dependencia de ellos, al ser los principales generadores de energía.

Los resultados de la exploración cada vez serán más inciertos, siendo necesario realizar inversiones más cuantiosas para encontrar explotaciones nuevas. Con el tiempo esta actividad dejará de ser rentable y al no encontrarse

explotaciones nuevas y continuar aumentando el consumo del recurso, su agotamiento estará más próximo.

Como se ha recogido anteriormente en el trabajo, para poder paliar los efectos de la escasez en los recursos no renovables dos son las principales medidas a tener en cuenta: la primera, la sustitución de productos por otros menos escasos y contaminantes, como las energías renovables en el caso de los combustibles fósiles; y la segunda, el reciclado de productos que permita alargar la vida del recurso reutilizándolo. Las dos anteriores no son las únicas soluciones, ya que en la literatura también se han señalado otras formas que pueden beneficiar a la conservación de los recursos no renovables como son, por ejemplo, el hecho de alargar la vida de los productos; mejorar la eficiencia; y utilizar la cantidad mínima de materiales en los procesos de producción.

El otro gran problema de los recursos naturales no renovables es la contaminación y los desechos que generan. No sólo deben tenerse en cuenta los desechos de los productos una vez consumidos, sino que para poder elaborar ese producto también se han creado desechos en los procesos de manufactura y extracción. Por cada tonelada de basura de producto consumido se han generado más de 20 toneladas de desechos y residuos en el resto de procesos productivos (Meadow et al., 1992), por lo que parece necesario reducir los desechos, siendo una posible forma de hacerlo la reducción de la cantidad de material utilizada.

A lo largo de este trabajo se ha subrayado que el crecimiento excesivo (poblacional, industrial, etc.) es el causante principal del abuso en el consumo de recursos, por lo que si este crecimiento fuese menor o nulo se consumiría una menor cantidad de recursos y el agotamiento no sería un problema tan acuciante. Una forma de ralentizar el crecimiento económico y poder así evitar el agotamiento de ciertos recursos sería concienciar a la sociedad para que disminuyera su consumo, así, potenciando el consumo mínimo de todo tipo de productos también se conseguiría alargar la vida de los recursos no renovables (ya que la elaboración de cualquier producto necesita de energía, y ésta, principalmente, proviene de los combustibles fósiles).

Por último, aunque la sociedad está concienciada de los problemas que puede causar la escasez de recursos y el abuso medioambiental de momento no se

ha tomado ninguna medida lo suficientemente seria como para poder solventar o paliar el problema. Por ello, es necesario que se tomen medidas globales capaces de conseguir corregir, lo antes posible, todos los desequilibrios medioambientales, para que las consecuencias sean lo menos perjudiciales para la vida y el desarrollo de la sociedad, antes de que sea inevitable un colapso del sistema tal y como lo conocemos actualmente.

La principal medida medioambiental tomada de forma global (aunque algunos países como Estados Unidos no formaron parte) fue el denominado Protocolo de Kioto, que fue un acuerdo internacional que tenía como fin reducir las emisiones de los gases causantes del efecto invernadero a la atmósfera, ya que ésta es la principal causa del cambio climático. Este tratado entró en vigor en el año 2005 y ha conseguido superar los objetivos marcados de reducción de gases (El País, 2014a). Actualmente se está intentando realizar un nuevo protocolo de Kioto, esta vez con el objetivo de que el calentamiento global no supere los dos grados centígrados e intentando abarcar a las principales potencias emisoras de CO₂ (Estados Unidos, Unión Europea y China) (El País, 2014b).

Aunque el protocolo de Kioto es la medida medioambiental de ámbito global más importante de las realizadas hasta ahora, también se han efectuado un gran número de convenciones para debatir y buscar soluciones sobre los diversos problemas. Las más destacables son las Conferencias de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo⁷ donde se discutió sobre los diferentes problemas medioambientales (Manual digital de sostenibilidad ambiental, 2015) y a las cuales siguió la Cumbre Rio+20 donde se discutió sobre como reducir la pobreza, fomentar la equidad y proteger el medioambiente, plasmando las conclusiones en un documento llamado: *El futuro que queremos* (Naciones Unidas, 2015), y las cumbres realizadas por la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático siendo la

⁷ También conocidas como Cumbres de la Tierra, se desarrollaron entre los años 1972 y 2002, siendo la primera la de Estocolmo en 1972, siguiéndola la de Rio de Janeiro en 1992 y terminando con la de Johannesburgo en 2002.

más importante la de Copenhague (2009) por plantear la ampliación del Protocolo de Kioto (Manual digital de sostenibilidad ambiental, 2015).

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Azqueta, D. (1994): “La problemática de la gestión óptima de los recursos naturales: aspectos institucionales”, en: Azqueta, D. y Ferreriro, A. (eds.), *Análisis económico y gestión de recursos naturales*, Alianza editorial, Madrid, pp. 51-72.
- Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 1987. *Nuestro Futuro Común*.
- El País (2014a): *Europa cumple la reducción de emisiones del protocolo de Kioto*. Disponible en: http://sociedad.elpais.com/sociedad/2014/06/03/actualidad/1401798742_648544.html [consulta: 23/07/2015].
- El País (2014b): *La ONU busca un nuevo protocolo de Kioto contra el calentamiento global*. Disponible en: http://politica.elpais.com/politica/2014/12/01/actualidad/1417438089_803916.html [consulta: 23/07/2015].
- Ferreiro, A., (1994): “Modelos de explotación de recursos no renovables”, en: Azqueta, D. y Ferreriro, A. (eds.), *Análisis económico y gestión de recursos naturales*, Alianza editorial, Madrid, pp. 163-180.
- Frank, R. H. (2001): *Microeconomía y Conducta*. 4º ed. McGraw-Hill, Madrid.
- Gómez, C. M. (1994): “Desarrollo sostenible y gestión eficiente de los recursos naturales” en: Azqueta, D. y Ferreriro, A. (eds.), *Análisis económico y gestión de recursos naturales*, Alianza editorial, Madrid, pp. 73-100.
- Hotelling, H. (1931): “The Economics of Exhaustible Resources”, *Journal of Political Economy*, 39(2), pp. 137-175.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L. y Randers, J. (1992): *Más allá de los límites del crecimiento*. El País S.A., Madrid.

- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. y Behrens III, W. W. (1972): *Los límites del crecimiento*. Fondo de cultura económica, México.
- Mill, J. S. (2008): *Principios de Economía Política*. Síntesis, Madrid.
- Naredo, J. M. (2006): *Raíces económicas del deterioro ecológico y social*. Siglo XXI de España Editores, S.A., Madrid.
- Naredo, J. M. (1999): “Sobre la “sostenibilidad” de los sistemas” en: Naredo, J. M. y Valero, A. (dirs.), *Desarrollo económico y deterioro ecológico*, Fundación Argentaria, Madrid, pp. 57-70.
- Ortiz, A. (1993): “Recursos no renovables (reservas, extracción, sustitución y recuperación de minerales)”, en: Naredo, J. M. y Parra, F. (comps), *Hacia una ciencia de los recursos naturales*, Siglo Veintiuno de España Editores, S.A., Madrid, pp. 121-173.
- Parra, F. (1993): “La ecología como antecedente de una ciencia aplicada de los recursos y del territorio”, en: Naredo, J. M. y Parra, F. (comps), *Hacia una ciencia de los recursos naturales*, Siglo Veintiuno de España Editores, S.A., Madrid, pp 9-28.
- Pearce, D. W. y Turner, R. K. (1995): *Economía de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente*. Celeste Ediciones, Madrid.
- Pindyck, R. S. y Rubinfeld, D. L. (2001): *Microeconomía*. 5º ed. Pearson Educación, Madrid.
- Reed, W. J. (1994): *Una Introducción a la Economía de los Recursos Naturales y su Modelización*. en: Azqueta, D. y Ferreriro, A. (eds.), *Análisis económico y gestión de recursos naturales*, Alianza editorial, Madrid, pp. 15-32.
- Riera, P., García, D., Kriström, B. y Brännlund, R. (2005): *Manual de economía ambiental y de los recursos naturales*. Madrid, Thomson Editores.
- Romero, C. (1997): *Economía de los recursos ambientales y naturales*. 2ª ed. Alianza Economía, Madrid.
- Turiel, A. (2010): *El peor escenario posible*. Blog The Oil Crash. Disponible en: <http://crashoil.blogspot.com.es/2010/08/el-peor-escenario-posible.html> [consulta: 23/07/2015]

5. WEBGRAFÍA.

- U.S. Energy Information Administration (2015): http://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/sec1_3.pdf [consulta: 21/07/2015].
- Manual digital de sostenibilidad ambiental (2015): <http://sostenibilidad.fongdcam.org/category/proyectos-actividades-y-recursos/acuerdos-compromisos-y-cumbres-internacionales/> [consulta: 23/07/2015].
- Naciones Unidas (2015): <http://www.un.org/es/sustainablefuture/index.shtml> [consulta: 23/07/2015]

6. ACRÓNIMOS.

- FMI: Fondo Monetario Internacional.
- OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.

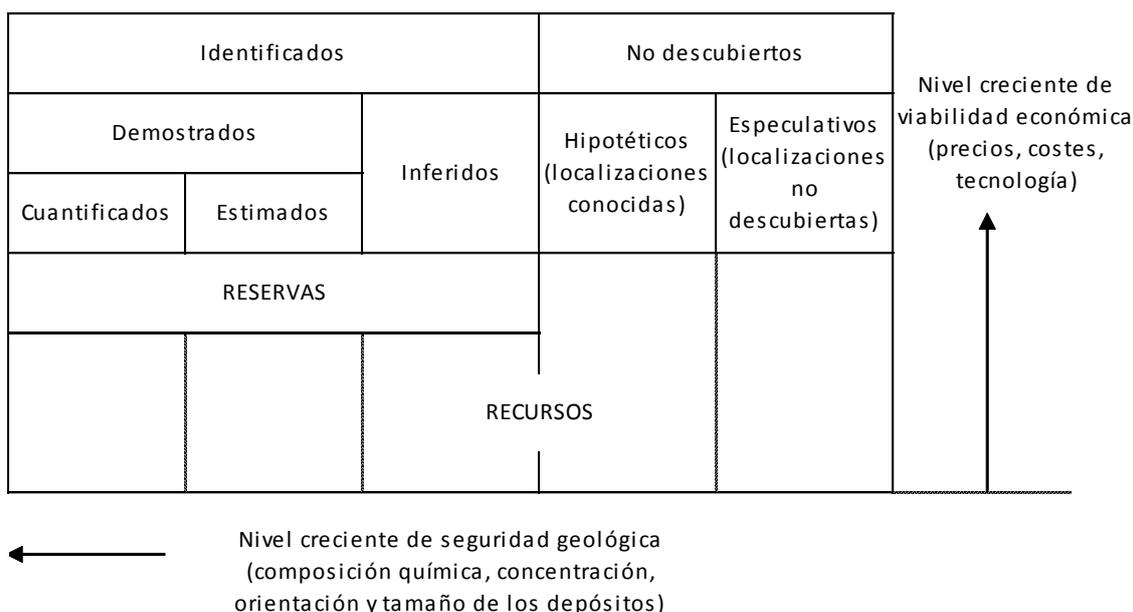
7. ANEXOS.

Anexo 1. Diagrama de Caja de McKelvey.

El diagrama de Caja de McKelvey representa la clasificación de los recursos naturales no renovables en función del grado de conocimiento de su existencia y su viabilidad económica.

La diferenciación principal que realiza McKelvey es la que se da entre los recursos que ya están identificados y entre aquéllos que aún no han sido descubiertos, diferenciando dentro de estas dos categorías también los distintos tipos de recurso que pueden encontrarse.

Diagrama de Caja de McKelvey.



Fuente: Pearce & Turner (1995).

La explotación será más factible cuando los recursos están identificados, demostrados y cuantificados, y menos factible conforme el tipo de recurso se aproxima al lado derecho de la tabla (Pearce & Turner, 1995).

Anexo 2. Índice de gráficos.

Gráfico 2.1. Presentación gráfica de la Regla de Hotelling.	10
Gráfico 2.2. Cambios en la trayectoria de precios al variar el tipo de interés. ...	13
Gráfico 2.3. Cambios en la trayectoria de precios ante variaciones en el precio de la tecnología de sustitución.	14
Gráfico 2.4. Cambios en la trayectoria de precios ante variaciones en los costes de extracción.	15
Gráfico 2.5. Cambios en la trayectoria de precios al variar las existencias del recurso.	16
Gráfico 2.6. Cambios en la trayectoria de precios ante variaciones en la demanda.	17
Gráfico 2.7. Comparación de las trayectorias de precios bajo monopolio y competencia.	18
Gráfico 2.8. Representación gráfica de la Regla de Hotelling bajo monopolio.	19
Gráfico 2.9. Consumo mundial de energía en el año 2014.	25

33