



Universidad de Valladolid
Facultad de Ciencias
Económicas y Empresariales

Grado en Economía

**Gestión óptima de los
recursos naturales no
renovables a través de la
Regla de Hotelling.**

Presentado por:

Raúl Fernández Vázquez

Tutelado por:

Guiomar Martín Herrán

Valladolid, 18 de Abril de 2017

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. RESUMEN..... | 3 |
| 1.1. Español..... | 3 |
| 1.2. Inglés..... | 3 |
| 2. INTRODUCCIÓN..... | 4 |
| 3. UN MODELO SIMPLE..... | 6 |
| 4. REGLA DE HOTELLING..... | 7 |
| 4.1. Trayectorias óptimas de extracción y precios en la industria competitiva..... | 8 |
| 4.2. Trayectorias óptimas de extracción y precios en la industria monopolística..... | 12 |
| 5. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA REGLA DE HOTELLING..... | 14 |
| 6. INTRODUCCIÓN A LA EXPLORACIÓN..... | 16 |
| 7. EXTERNALIDADES AMBIENTALES DE LOS RECURSOS NATURALES..... | 17 |
| 8. LA MEDIDA ECONÓMICA DE LA ESCASEZ..... | 19 |
| 9. BUENAS PRÁCTICAS..... | 23 |
| 10. CONCLUSIONES..... | 25 |
| 11. WEBGRAFÍA..... | 27 |
| 12. BIBLIOGRAFÍA..... | 29 |

1. RESUMEN

1.1. Español.

El trabajo revisa la gestión óptima de los recursos no renovables, teniendo en cuenta la regla de Hotelling.

La regla de Hotelling relaciona el precio de un recurso natural con su nivel de explotación para que su uso intertemporal sea lo más sostenible posible desde el punto de vista medioambiental.

A través de la regla de Hotelling se pueden establecer las pautas óptimas de uso del recurso natural para que el disfrute sea máximo tanto en el presente como en el futuro.

En este trabajo se revisa la regla de Hotelling bajo los supuestos de competencia perfecta y bajo un mercado monopolístico. Posteriormente se incluyen los efectos que traen consigo el descubrimiento de nuevas reservas de un recurso y se analizan las causas de la escasez del mismo.

En la última parte del trabajo se enumeran una serie de países que han concienciado a la población de la utilización de energías alternativas, que sustituyan a las no renovables. También se recogen una serie de programas y ayudas destinadas a que España cambie su modelo de crecimiento incorporando energías alternativas renovables.

Palabras clave: Gestión óptima, recursos naturales no renovables, regla de Hotelling, medio ambiente.

Indicadores JEL: Q01, Q32, Q42.

1.2. Inglés.

The work surveys the optimal management of non-renewable or exhaustible resources emphasizing the Hotelling rule.

The Hotelling rule relates the price of a natural resource with its level of exploitation so that its intertemporal use is as sustainable as possible from an environmental point of view.

Through the Hotelling rule the optimal paths for the use of the natural resource can be established such that the optimum moments of use ensure that the enjoyment is maximum in the present as well as in the future.

In this work the rule of Hotelling is discussed under the assumptions of perfect competition and of a monopolistic market. Furthermore the effects of the discovery of new reserves of the natural resources and the causes of the scarcity of resources are analyzed.

In the final part of the work countries that have made the population aware of the use of alternative energy, replacing non-renewable energy are listed. In the same way programs and aids aimed at Spain changing the model of growth through alternative renewable energies are also listed.

Key words: Optimal management, non-renewable natural resources, Hotelling rule, environment.

JEL Indicators: Q01, Q32, Q42.

2. INTRODUCCIÓN.

La elección de este tema para el trabajo de fin de grado surge del interés sobre la escasez de la cantidad de recursos no renovables que hace que su gestión óptima coincida con su explotación eficiente y la búsqueda del máximo beneficio económico.

La metodología utilizada para la realización de este trabajo se ha basado en la revisión de textos y artículos sobre el medioambiente y economía ambiental donde se mencionan los principales problemas asociados a los recursos naturales no renovables.

Primeramente se definirá qué es un recurso natural no renovable. Por recurso natural no renovable se entiende aquel recurso natural que no puede ser producido o regenerado, existiendo una cantidad fija del mismo en la naturaleza.

Posteriormente se establecerá un modelo simple a través de varios axiomas e hipótesis que servirán como pilar para desarrollar los diferentes supuestos de la regla de Hotelling, regla que se deriva del artículo "The Economics of Exhaustible Resources", realizado por Harold Hotelling en 1931. La idea se convirtió en regla a raíz del movimiento conservacionista hacia los recursos naturales en Estados Unidos. Esta regla establece que el precio de un recurso natural no renovable tiene que crecer a una tasa igual a la tasa de interés, en un marco de eficiencia en los procesos de extracción y en un mercado

competitivo. Así se podrán determinar los momentos óptimos de extracción de un recurso natural no renovable para que el beneficio económico sea máximo ante supuestos de libre competencia y monopolio.

Seguidamente se verán las ventajas e inconvenientes que se pueden observar en la regla de Hotelling. Como ventaja principal se citará la idoneidad de la regla de Hotelling para realizar un estudio de una realidad cuasiperfecta, para que a posteriori se tomen predicciones a partir de esta regla. Como inconveniente se explicará más en detalle el supuesto de que los costes de extracción no sean constantes o nulos, como inicialmente se supondrá.

De la misma manera se verán externalidades ambientales que pueden provocar los recursos naturales no renovables, las posibles vías por las cuales se pueden contrarrestar, y sus métodos de valoración y cuantificación.

Los recursos naturales no renovables juegan un papel muy estratégico, ya que la mayor parte de la demanda energética proviene de energías fósiles y de otras que no son “autorreproducibles”, por lo que el precio crecerá reflejando la escasez del recurso. En el caso de que existiera un recurso sustitutivo perfecto, el precio del recurso no renovable crecería de manera que se igualaría al precio del recurso sustitutivo en el momento en el que se agotara completamente.

Ante la incapacidad de que el ser humano pueda “producir” un recurso no renovable es interesante estudiar la manera óptima en la que se tiene que extraer, así como la utilización de la exploración que ayude a poder aumentar la cantidad de stock de un recurso natural no renovable, ya que su uso es elevado para la producción de energía.

A continuación se verá la relación que existe entre la escasez de un recurso natural no renovable con la cantidad consumida de ese recurso por la población. Los recursos naturales no renovables son los principales recursos utilizados para el crecimiento económico, por lo que su agotamiento o escasez puede suponer un grave problema para que se siga manteniendo el crecimiento. Ante la problemática que supone el crecimiento de la población para el consumo de fuentes de energías no renovables, se tendrá que buscar un crecimiento económico a la par que un desarrollo sostenible en el que se busque un crecimiento que satisfaga las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer a las generaciones futuras (Meadows *et al*, 1972).

En el caso de que no fuese así, el crecimiento industrial llegará a un punto que decrecerá y se volverá a situaciones de industrialización ya vividas (Richard C. Duncan, 1989).

Como punto final se hablará del consumo de energía mundial diferenciando las diferentes fuentes de energía, y las perspectivas de consumo de energía que se supone que habrá. Consecuente a esto se abordarán las buenas prácticas que los países más concienciados con la conservación del medio ambiente realizarán para abordar una transición hacia energías renovables y que no influyan en un decrecimiento económico del país.

3. UN MODELO SIMPLE.

Como punto de partida, y para poder explicar la gestión óptima de los recursos naturales, vamos suponer que éstos son de propiedad privada y no renovables. Estas hipótesis permiten implantar un mercado con una oferta y una demanda dependientes de la cantidad de recurso. Que los recursos sean no renovables supondrá introducir una senda de explotación que abarcará la cantidad de salida al mercado hasta su completo agotamiento (Gómez, 1994).

Para poder aplicar la regla de Hotelling, regla que representa la forma de explotación más rentable para la extracción de un recurso no renovable, el propietario del recurso tiene que establecer los períodos en los que fragmentará la extracción del mismo, así como la cantidad, con el objetivo de maximizar el beneficio con la cantidad ofertada y demandada.

Para representar la regla de Hotelling se suponen inicialmente, y por simplicidad, unos costes de extracción nulos (Gómez, 1994).

Con el objetivo de encontrar una relación de precios relativos en diferentes momentos de tiempo, se tiene que considerar, primeramente, la variable tipo de interés (s), que se supone constante durante el tiempo de explotación considerado. El valor presente de una unidad de beneficio en un momento preciso de tiempo (t) se denotará por e^{-st} .

Por tanto, la regla de Hotelling viene a explicar el precio relativo en un instante de tiempo (t), que puede representarse mediante la siguiente ecuación (Hotelling, 1931):

$$P_0 = P_t e^{-st},$$

donde P_0 denota el precio del recurso en el instante inicial y P_t denota el precio del recurso en el instante de tiempo t . En caso de que el mercado opere bajo libre competencia, el margen de beneficios en un momento de tiempo determinado (Gómez, 1994), que se denotará por M_t , será igual al precio relativo de mercado en ese instante de tiempo (P_t) menos los costes de extracción en ese mismo instante de tiempo (C_t):

$$M_t = P_t - C_t.$$

Por otra parte, el valor económico para el propietario del recurso (Gómez, 1994) vendrá dado por el margen del beneficio (M_t) obtenido por el recurso extraído multiplicado por la cantidad de recurso extraído (R_t), todo ello a lo largo del tiempo. Matemáticamente, el valor económico se describe a través de la siguiente integral que consta de dos términos dependientes del intervalo de tiempo:

$$V_t = \int_0^{\infty} M_t R_t dt.$$

El propietario del recurso tendrá que determinar el ritmo óptimo de extracción del recurso que maximice el valor económico del recurso teniendo en cuenta el nivel de reservas (S).

Las reservas iniciales del recurso (Gómez, 1994) coincidirán con la cantidad total del recurso extraído a lo largo del horizonte temporal, por lo que se puede expresar:

$$\bar{S} = \int_0^{\infty} R_t dt.$$

En conclusión, los empresarios, propietarios del recurso, reducirán su problema a una maximización del valor económico del recurso (Gómez, 1994):

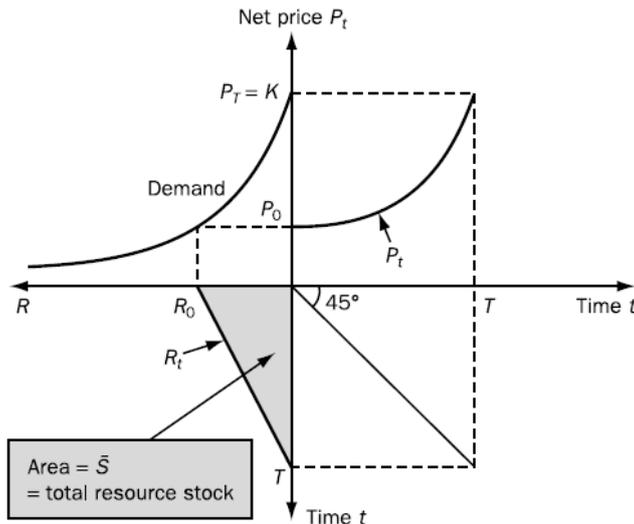
$$\text{Máx } V_t = \int_0^{\infty} M_t R_t dt, \quad \text{siendo } \bar{S} = \int_0^{\infty} R_t dt \quad ; \quad M_t, R_t \geq 0$$

4. REGLA DE HOTELLING.

La gestión de los recursos no renovables se estudia principalmente mediante la regla de Hotelling. Según esta regla el precio del recurso no renovable, en un mercado competitivo, tenderá a crecer según lo haga el tipo de interés hasta que la demanda sea nula. Con este razonamiento se busca poder determinar los momentos de extracción del recurso para que el beneficio sea máximo.

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

Para representar gráficamente la regla de Hotelling bajo el supuesto de una industria competitiva, se divide una gráfica en cuatro cuadrantes (Hotelling, 1931) como se muestra en la siguiente figura:



Gráfica 4.1.1: Regla de Hotelling en competencia perfecta.

(Fuente: Perman *et al.* (2003), Capítulo 15, pág 517.)

El cuadrante superior derecho muestra la evolución del precio a lo largo del tiempo, desde el precio inicial, P_0 , hasta el precio en el que sale rentable la utilización de la tecnología de reemplazo, P_T . Esta curva crece a lo largo del tiempo como consecuencia del creciente agotamiento del recurso, lo que acarrea que a menor cantidad del recurso disponible para su extracción mayor es el precio. En el cuadrante superior izquierdo se muestra la función de demanda, según la cual se representa la cantidad demandada de un recurso por parte de los compradores decrece a medida que se incrementa el precio del recurso. En el cuadrante inferior izquierdo se muestra como se reduce la cantidad de recurso desde su extracción hasta que se agota (senda de explotación (R_t)).

El área sombreada, situada por debajo de la senda de explotación, representa la cantidad explotada acumulada del recurso natural. En el instante $t=T$ la cantidad explotada coincidirá con la cantidad total explotable del recurso, \bar{S} .

El último cuadrante, el inferior derecho, muestra la traslación de la variable tiempo entre cuadrantes.

Esta regla permite calcular el precio óptimo inicial del recurso (P_0) de modo que el precio del recurso alcance un máximo en P_T , precio para el cual el recurso se agota por completo y se tendría que adoptar una tecnología de reemplazo. El precio inicial del recurso llevará incluido el coste de extracción, que será positivo y no nulo, dependerá de la demanda y de la cantidad inicial del mismo. La cantidad demandada (q) es una función dependiente del tiempo y del precio, y viene dada por la siguiente expresión:

$$q = f(P, t).$$

Por tanto la cantidad ofertada del recurso (Gómez, 1994), desde que se empieza a explotar hasta que se agota completamente (T) vendrá dada por:

$$\int_0^T q \, dt = \int_0^T f(P, t) \, dt.$$

Ante una situación de mercado en libre competencia se tendrá una senda de explotación eficiente, pero no siempre sucede así ya que es bastante sensible a cualquier cambio de partida.

Dado un precio inicial del recurso pueden presentarse dos situaciones diferentes. En la primera situación se supone que $P_0 > P_0^*$, es decir, que el precio inicial del recurso sea mayor que el precio inicial de equilibrio. Esto supondría un menor tiempo para alcanzar P_T (precio necesario para hacer rentable la tecnología de reemplazo) y quedarían reservas del recurso sin explotar. Por lo contrario, en la segunda situación, en la que el precio inicial del recurso sea menor que el precio inicial de equilibrio, $P_0 < P_0^*$, las reservas se acabarían antes de llegar a su precio necesario para hacer rentable la tecnología de reemplazo (Gómez, 1994).

Matemáticamente, el stock de reservas que quedan del recurso en un instante t , es decir, el stock inicial menos el stock consumido hasta el instante t , vendrá dado por (Gómez, 1994):

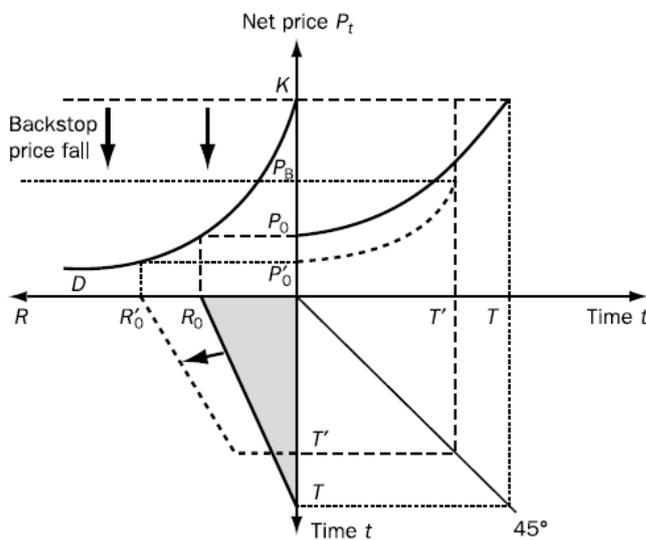
$$S_t = \bar{S} - \int_0^t R_t \, dt.$$

Considerando el gráfico anterior como punto de referencia, a continuación se explican cuatro posibles situaciones en las que la senda de explotación se ve alterada (Perman *et al*, 2003):

- Abaratamiento de la tecnología de reemplazo (*Gráfica 4.1.2*).

- Aumento de la tasa de descuento o tipo de interés (*Gráfica 4.1.3*).
- Aumento del volumen de reservas iniciales (*Gráfica 4.1.4*).
- Aumento de la cantidad demandada (*Gráfica 4.1.5*).

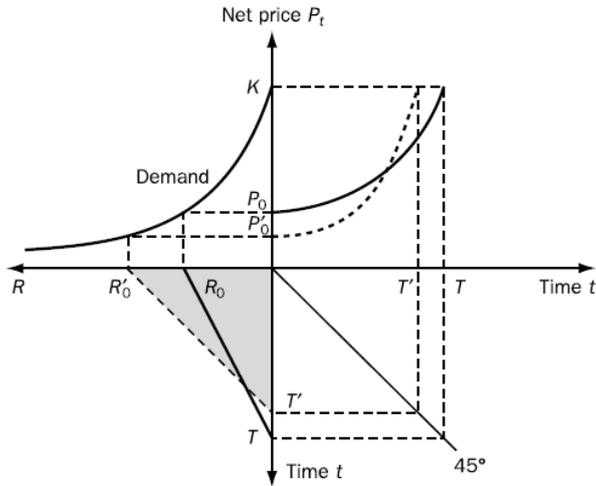
En primer lugar, la gráfica 4.1.2 muestra el efecto de un abaratamiento de la tecnología de reemplazo. Esta mejora en la tecnología afecta a la curva que describe el precio del recurso a lo largo del tiempo hacia abajo, ya que si no se modificase se alcanzaría el precio de la tecnología de reemplazo antes de que se agotase completamente el recurso, por lo que el agotamiento del recurso será más rápido y el recurso se agotará en el tiempo T' , menor que en el tiempo T del caso de referencia.



Gráfica 4.1.2.: Mejoras en la tecnología de reemplazo.

(Fuente: Perman *et al.* (2003), Capítulo 15, pág 523.)

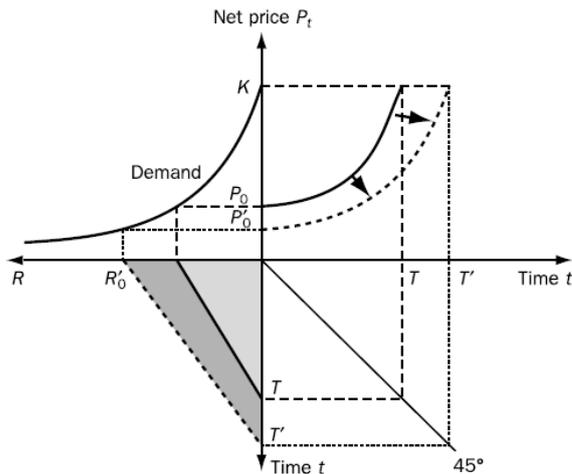
En el caso de un aumento en la tasa de descuento, la gráfica 4.1.3 muestra que la trayectoria temporal de los precios tiene una mayor pendiente. Por lo tanto, como en el caso anterior, si no se modificase el precio inicial del recurso, de nuevo se alcanzaría el precio de la trayectoria de reemplazamiento antes de que se agotara completamente el recurso. Por lo tanto, el precio inicial del recurso debe de ser más bajo al que se tenía en el caso de referencia, y el agotamiento del recurso se alcanzará, como en el caso anterior, en T' menor que T .



Gráfica 4.1.3.: Aumento de la tasa de descuento.

(Fuente: Perman *et al.* (2003), Capítulo 15, pág 521.)

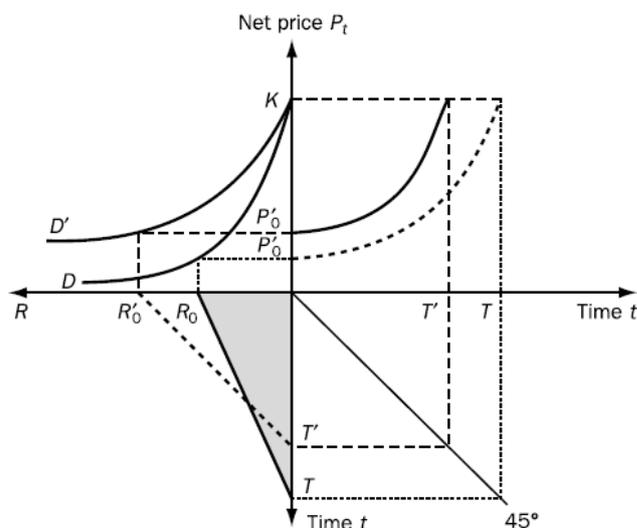
La gráfica 4.1.4 muestra la tercera situación, que supone un aumento en las reservas iniciales del recurso. En este caso la senda de precios óptimos del recurso natural sufre el mismo cambio que cuando se producía una mejora en la tecnología. En este caso, un aumento de las reservas provoca una disminución del precio inicial del recurso, y si se considera que la demanda del recurso permanece constante, entonces crecerá la duración del periodo de explotación del recurso antes de su agotamiento, ya que T' será mayor al T inicial.



Gráfica 4.1.4.: Aumento de las reservas.

(Fuente: Perman *et al.* (2003), Capítulo 15, pág 521.)

En la gráfica 4.1.5 se analiza la última situación, que considera una expansión de la demanda. Un aumento de la demanda implica que crezca la extracción del recurso, lo que empuja hacia arriba la curva de los precios del recurso, por lo que disminuye el precio de explotación del recurso antes de su agotamiento. Esto se traduce gráficamente en un desplazamiento de la curva de demanda hacia arriba, desplazando la curva de precios a la izquierda y a la senda de explotación también a la derecha.



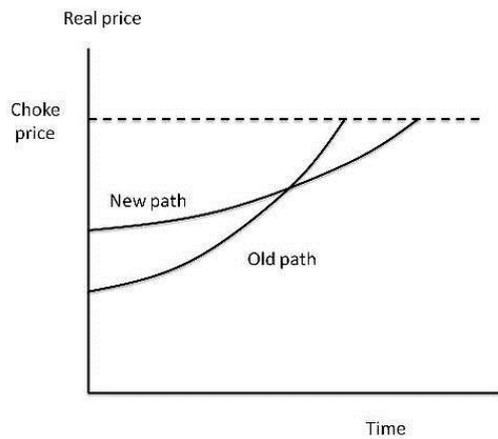
Gráfica 4.1.5.: Expansión de la función de demanda.

(Fuente: Perman *et al.* (2003), Capítulo 15, pág 522.)

4.2. Trayectorias óptimas de extracción y precios en la industria monopolística.

La tasa de beneficio en un mercado de libre competencia será los ingresos marginales menos los costes marginales, por ello en este caso el monopolista producirá por debajo del nivel de libre competencia para que el precio del recurso sea mayor y así tener un margen de beneficios mayor. Así el recurso tardará más en ajustarse que en el caso de explotación en competencia perfecta, y el precio inicial aumentará respecto al obtenido en competencia perfecta.

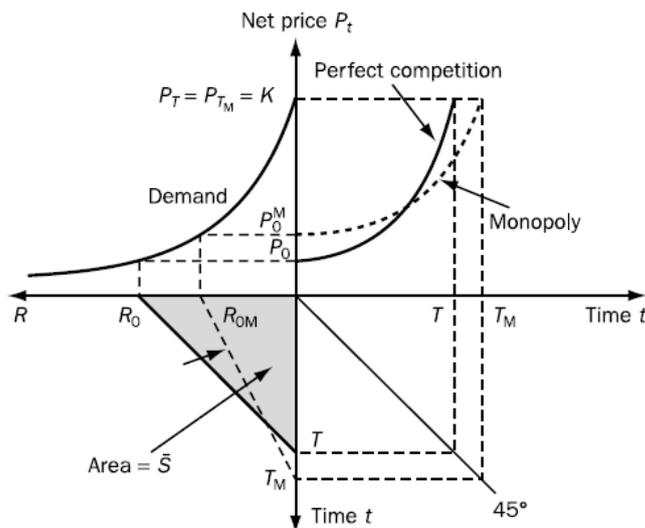
Así, la curva de precios en monopolio será más elástica respecto a la curva de precios en competencia perfecta, y se llegará más tarde al momento en el que el precio del recurso es tan elevado que hace rentable la tecnología de reemplazo (Ver Gráfica 4.2.1).



Gráfica 4.2.1.: Cambio en la curva de precios producido por un monopolio.

(Fuente: Gold and Economic decline, by Gregor MacDonald.

<http://www.zerohedge.com/news/guest-post-gold-and-economic-decline?page=2>, Año 2011)



Gráfica 4.2.2.: Cambio en la regla de Hotelling producido por un monopolio.

(Fuente: Perman *et al.* (2003), Capítulo 15, pág 519.)

Como la trayectoria de precios a lo largo del tiempo cambia, también se modificará la senda de explotación en monopolio con respecto a la de competencia perfecta, tal como se muestra en la *Gráfica 4.2.2.*

La senda de explotación del recurso se desplazará de tal manera que, ante una subida del precio del recurso, se aumentará la vida del recurso y se tendrá un margen de explotabilidad mayor que en libre competencia.

Ante este cambio producido en la curva de precios que supone la competencia monopolística nos encontraremos las mismas alteraciones que se pueden dar en competencia perfecta, como pueden ser la variación de la tasa de descuento, mejoras en la tecnología de reemplazo, cambios en las reservas del recurso monopolizado y el desplazamiento de la demanda por cambios en las preferencias de la población (Gómez, 1994).

5. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA REGLA DE HOTELLING.

La regla de Hotelling es una regla teórica fundamentada por unos axiomas que se dan por verdaderos en la que los actores y reglas que se imponen siguen un comportamiento dado. Se intenta interpretar una realidad idealizada en la que la complejidad de externalidades, tanto positivas como negativas, se reducen a hechos simples y directos, tales como la tecnología, el tipo de interés, los cambios en la demanda, etc.

Lo bueno de esta regla es que a través de ella se realiza un estudio de una realidad cuasiperfecta para que a posteriori se tomen predicciones a partir de este modelo. Proporciona un modelo de gestión de un recurso en el que maximiza su explotación en un momento dado respecto a un momento futuro, de esta manera se busca el momento idóneo de explotación del recurso.

Esta regla se usa para ver el comportamiento de los precios en un mercado bajo unas condiciones específicas restrictivas. Estos precios, como se ha podido comprobar, son precios *netos* del recurso, y no se ha tenido en cuenta el coste marginal de extracción, ya que se supone nulo o constante.

Si se considera el precio de extracción del recurso (Perman *et al*, 2003), denotado por P, vendría dado por el precio bruto en el mercado (p) más el coste de extracción (ce):

$$P = p + ce.$$

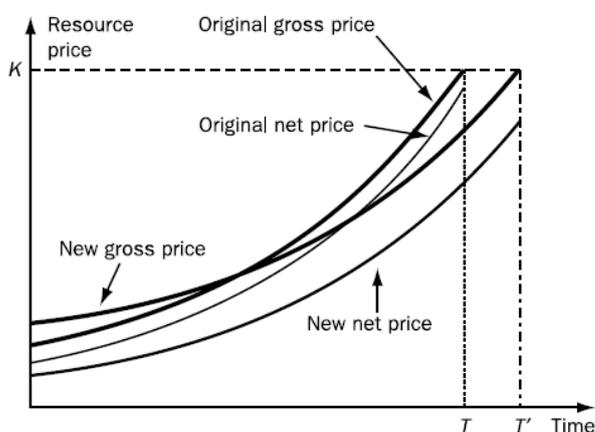
Esta fórmula permite deducir que si el coste de extracción decrece a lo largo del tiempo, entonces el precio del recurso podría caer incluso si el precio bruto del recurso aumenta. Esto puede producirse porque los costes de extracción sean mayores en relación al precio bruto de mercado del recurso, lo que implica que el precio del recurso tendrá un margen negativo y, consecuentemente, disminuirá.

Esto sugiere la utilización de unos precios netos, para evitar el problema que conlleva la volatilidad del coste de extracción en unos precios que se prefieren considerar no dependientes de ningún factor. En ausencia de un precio neto del recurso se utilizará una aproximación, incluyendo los errores de aproximación que conlleva (Hotelling, 1931).

Hasta ahora los costes de extracción se habían supuesto constantes o nulos para una mayor simplicidad, teniendo así un margen de beneficios dependiente sólo de los precios de mercado. En el supuesto de existir costes de extracción, el margen de beneficios se vería disminuido en mayor o menor medida a la cuantía de los mismos. El valor económico para el propietario del recurso también se verá afectado, de manera que para obtener un valor económico similar al que podría obtenerse sin costes de extracción, el propietario tendrá que aumentar la cantidad del recurso extraído (Gómez, 1994).

Una posible razón para que aumenten o disminuyan puede ser que el progreso tecnológico decrezca o se incremente en menor medida, es decir, que la maquinaria necesaria para la extracción de los recursos naturales se vuelva obsoleta y no haya una tecnología acorde a las necesidades del momento (Gómez, 1994).

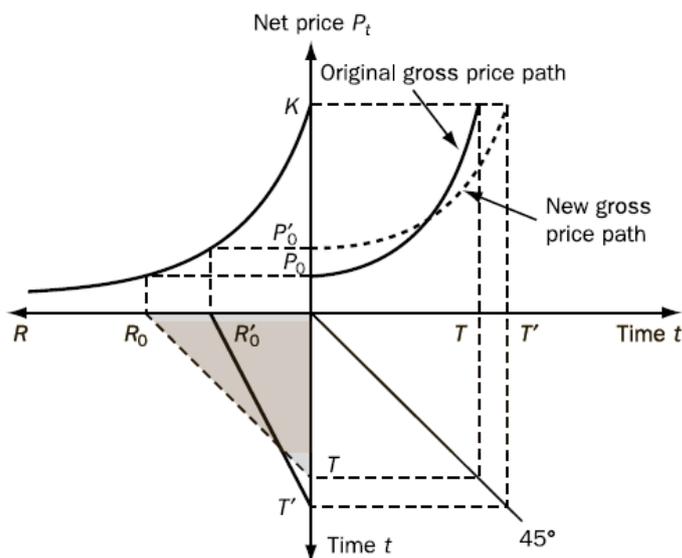
Que el progreso tecnológico decrezca supone un aumento de los costes brutos iniciales, pero la curva de precios será más elástica con respecto a la curva de precios en la que los costes de extracción son constantes, lo que supondrá un aumento menor del precio del recurso a lo largo del tiempo.



Gráfica 5.1.: Aumento de los costes de extracción.

(Fuente: Perman *et al.* (2003), Capítulo 15, pág 523.)

Continuando con el supuesto de un aumento de los costes de extracción, y por consiguiente un aumento del precio inicial del recurso, la senda de explotación variará disminuyendo la cantidad de recurso extraído de tal manera que el agotamiento del recurso se prolongará más en el tiempo (Perman *et al*, 2003). Ante este aumento de los costes de extracción se tendrán que estudiar las mejoras tecnológicas que puedan encontrarse para que la utilización de este recurso no conlleve unos precios altos.



Gráfica 5.2.: Cambio en la regla de Hotelling por un aumento de los costes de extracción. (Fuente: Perman *et al*. (2003), Capítulo 15, pág 524.)

6. INTRODUCCIÓN A LA EXPLORACIÓN.

La escasez en los recursos no renovables conlleva un aumento de los precios, lo que provoca el buscar alternativas para incrementar el stock de ese recurso. Dado que el recurso natural no puede aumentar de forma espontánea, el ser humano ha tenido que explorar para descubrir nuevos yacimientos.

La utilización de energías no renovables abarca más del 80% de la cuota de consumo de energía (BP Statistical Review of World Energy 2016). Gracias a su gran capacidad energética son tan apreciadas, y por consiguiente, buscadas a lo largo del planeta.

Consecuencia directa de la exploración es el aumento de la cantidad del recurso. En cierta manera este aumento de stock explotable del recurso supone que el recurso pueda catalogarse como “renovable”, a pesar de que este cambio no se produce por la renovación biológica y natural, sino que proviene de la exploración con el fin de aumentar el stock del recurso (Gómez, 1994).

Según Gómez (1994), la exploración puede representarse como una variable dependiente del capital invertido ($K(t)$), de los descubrimientos acumulados ($D(t)$) y del tiempo invertido (t):

$$E(t) = E(K(t), D(t), t).$$

Aunque la exploración sirva para aumentar la cantidad del recurso, será un aumento limitado para un tiempo finito, ya que debe tenerse en cuenta que existe un stock limitado.

Además la exploración conlleva un grado de incertidumbre y unos costes que hay que asumir para, en algunos casos, no encontrar nada, y por lo tanto, no poder incrementar el stock del recurso.

7. EXTERNALIDADES AMBIENTALES DE LOS RECURSOS NATURALES.

A lo largo de la vida útil de un recurso existen unos costes, directos e indirectos, que afectan al recurso en sí.

Las reservas de los recursos naturales presentan externalidades negativas como puede ser el impacto medioambiental, y pueden ser contrarrestadas mediante un impuesto ambiental, o impuesto Pigouviano, recogido en el libro “The Economics of Welfare” de Arthur Pigou en 1920, cuya finalidad es absorber o contrarrestar de una manera positiva esa externalidad negativa, y a su vez concienciar de alguna manera al contaminador de llevar a cabo su trabajo con el mínimo daño ambiental.

Este impuesto dio paso al lema “el que contamina paga”, que posteriormente fue acogido por la comunidad internacional como principio rector de las políticas ambientales.

Adicionalmente a lo anterior, Michael Porter, en su libro “La ventaja competitiva de las naciones” en 1991, introdujo su hipótesis argumentando que una estricta

regulación ambiental produciría un efecto positivo sobre la competitividad en el mercado.

Los impuestos al fin y al cabo son costes adicionales sobre el precio del recurso.

Ante la ineficiencia de este impuesto surgió una de las mayores medidas medioambientales con el fin de reducir las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera: El Protocolo de Kioto.

Este protocolo entró en vigor en Febrero de 2005. El fin último de este protocolo es reducir las emisiones contaminantes a la atmósfera que causan el efecto invernadero y que son las principales causantes del denominado cambio climático y calentamiento global. Así en el período 2013-2020 la UE se compromete a reducir el efecto invernadero y así mejorar la sostenibilidad medioambiental.

Si no se mejorase la sostenibilidad medioambiental se verían efectos tanto sobre la salud de las personas como sobre los ecosistemas. En el caso de los efectos en la salud de las personas no encontraríamos con enfermedades, cánceres y efectos crónicos. En el caso de los efectos sobre los ecosistemas se podrían observar en impactos sobre la vegetación y la biodiversidad (Pearce *et al*, 1992).

Para la valoración y cuantificación de las externalidades producidas por los recursos naturales se han propuesto diferentes métodos de medición.

El primero es el método “top-down”, creado por Hohmeyer (1988) basado en la utilización de datos medios para un enfoque global, calculando las emisiones del sector energético y los daños causados por la contaminación ambiental.

Otro método se basa en la cuantificación en los costes de control, implementado por Bernow y Marron (1990). Este método calcula el daño por un determinado contaminante a través del coste necesario para reducir la emisión hasta niveles legales.

La metodología europea usada para medir las externalidades de las energías se llama ExternE, fue desarrollada por la Comisión Europea en el programa JOULE, en el año 1991. Esta metodología usa una ruta de impacto para relacionar la actividad originaria que produce un efecto ambiental a su valoración en términos monetarios (Comisión Europea, 1995).

8. LA MEDIDA ECONÓMICA DE LA ESCASEZ.

La consecuencia inevitable de un recurso natural no renovable es el agotamiento. Ante una cantidad limitada de un bien y si no se puede encontrar un sustitutivo perfecto, surge el problema económico del precio respecto a la escasez.

De forma natural la escasez de recursos se relaciona con el crecimiento de la población.

Un autor que estudió a fondo este problema fue Thomas Malthus en sus libros Ensayo sobre el principio de la población (1798) y Principios de economía política (1820).

En ellos Malthus señala que la capacidad biológica de reproducción del ser humano es tal que sobrepasa la capacidad que tiene la naturaleza para proporcionar recursos de subsistencia.

Este argumento es reforzado bajo la hipótesis de que la población tiende a crecer de manera geométrica, mientras que los recursos de subsistencia, en las condiciones más favorables, tienden a crecer de manera aritmética.

También Malthus supuso que el resultado del problema entre población y recursos naturales sería una economía donde la población viviría a un nivel de renta de subsistencia, ya que un reparto equitativo de los recursos entre la población llevaría a un nivel de subsistencia, y que la tecnología no influiría para vivir por encima de ese nivel de subsistencia.

Por otra parte, y a raíz de lo que dijo Malthus, David Ricardo (1817) habla del reparto de recursos entre la población a través de la ley de los rendimientos decrecientes.

A partir de la ley de los rendimientos decrecientes David Ricardo planteó que el crecimiento económico hará que las empresas reduzcan su margen de beneficios a cero debido a que a partir de un determinado momento los rendimientos empresariales decrecerían, llegando antes a un estado estacionario, y por tanto el crecimiento económico se pararía debido, entre otras cosas, a la escasez de recursos.

Habrá que tener en cuenta a estos autores y lograr un desarrollo sostenible, que tendrá que alcanzar un estado estacionario (equilibrio económico que se produce a largo plazo cuando la economía deja de crecer y la población tiene

una renta de subsistencia) en el que se logre un desarrollo sostenible sin crecimiento económico (Malthus, 1798; D. Ricardo, 1817).

El crecimiento económico frecuentemente ocasiona la degradación del medio ambiente y de los recursos naturales.

El desarrollo sostenible del medio ambiente ya surgió como objetivo a tener en cuenta hace varias décadas. Objetivo que nació como origen de la continua degradación que supone la utilización de recursos no renovables como motor para el crecimiento económico.

Por ello, numerosos autores hablan de lograr conseguir un desarrollo sostenible cuando se logre un desarrollo global sin crecimiento, ya que si no se alcanzarán los límites de crecimiento en la Tierra en los próximos cien años (Meadows *et al*, 1972).

El Informe Brundtland, informe que contrasta el desarrollo económico con la sostenibilidad, encargado por la ex primera ministra noruega Gro Harlem Brundtland en 1987 estableció que *“el desarrollo sostenible debe satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer el derecho de las generaciones futuras a satisfacer sus propias necesidades”*.

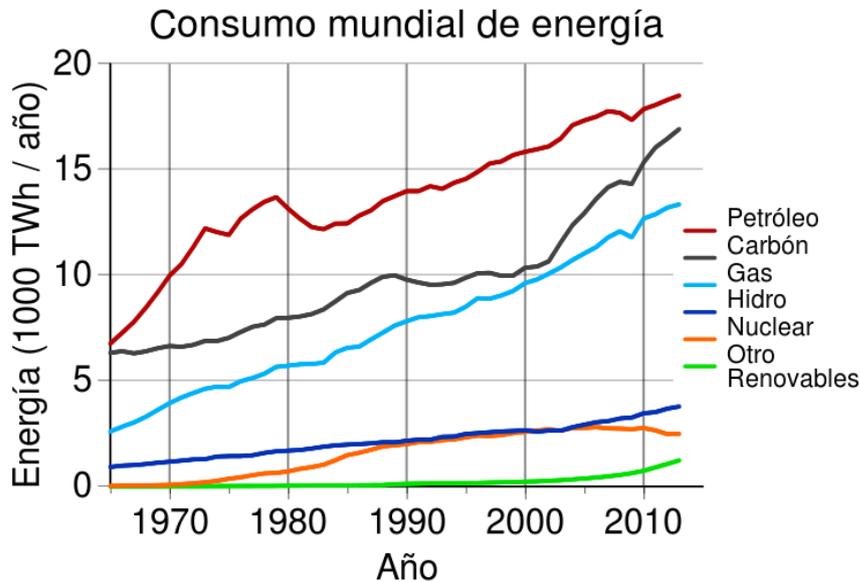
Lo que queremos decir con esto no es más que el consumo excesivo de un recurso natural trae consecuencias. No se puede pensar que el crecimiento económico se base en la degradación y agotamiento de recursos, ya que si esto fuera así, se llegaría a un punto estacionario en el que el crecimiento sería nulo, y no habría alternativas para poder crecer.

Surge así la teoría de Olduvai, originaria de Richard C. Duncan. En esta teoría se establece que en 2030 la industrialización habrá llegado a su momento más avanzado, y a partir de esa fecha la humanidad industrial se limitaría a vivir situaciones de la industrialización ya vividas.

Los límites al desarrollo vendrán dados por la disponibilidad global de tener o encontrar los recursos necesarios, por lo que se habla de un crecimiento dependiente de la cantidad de recursos que se necesitan emplear, así como la cantidad disponible de ellos.

Como puede observarse en la *Gráfica 8.1*, el consumo de energía mundial ha aumentado a lo largo de los años, aumentando más significativamente el uso de energías no renovables, siendo las principales el petróleo, carbón y gas, mientras que las energías renovables apenas han tenido impacto a la hora de

usarse para producir energía. A partir de la década de los noventa fue cuando se empezó a ser conscientes de la importancia de la utilización de energías renovables, aunque los costes de producción de estas energías renovables frente a las no renovables fueran demasiado altos y con unos rendimientos menores.

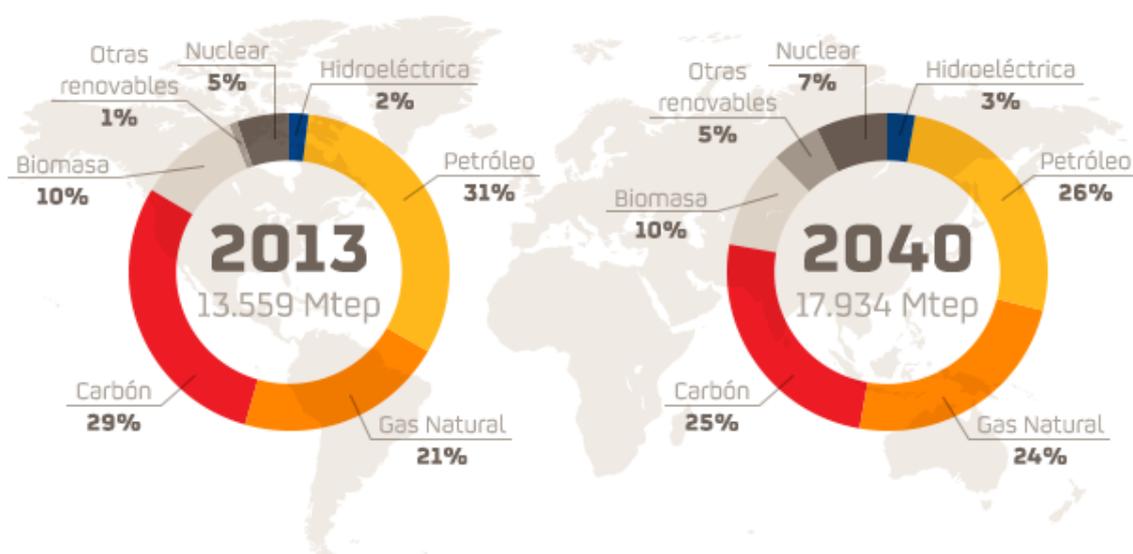


Gráfica 8.1.: Evolución del consumo mundial de energía a lo largo de los años. (Fuente: Departamento de energía BP.

http://www.bp.com/es_es/spain/prensa/notas-de-prensa/2016/bp-statistical-review-world-energy-2016.html. Año 2016.)

Con todo ello, en la actualidad, el consumo mundial de energía está mayoritariamente abarcado por energías no renovables, las energías renovables suponen un porcentaje muy pequeño respecto del consumo de energía mundial. Aún se está lejos del abastecimiento de energía por fuentes renovables, pero poco a poco, y a medida que la escasez de los recursos no renovables se va haciendo más notoria, estamos un paso más cerca de usar alternativas renovables que permitan una mayor sostenibilidad ambiental y una mayor eficiencia energética (Nordhaus y Tobin, 1972).

Perspectivas de crecimiento de la demanda mundial de energía primaria



Gráfica 8.2.: Perspectivas de crecimiento de la demanda mundial de energía primaria.

(Fuente: Agencia Internacional de la energía y Secretaría técnica de Repsol. https://www.repsol.com/es_es/corporacion/conocer-repsol/contexto-energetico/matriz-energetica-mundial/, Año 2013).

Ante unas perspectivas de crecimiento de demanda mundial de energía primaria mayores según pasa el tiempo, la Agencia Internacional de Energía y la Secretaría técnica de Repsol prevé un aumento de la demanda del consumo de energía, expresada en millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), con un incremento de alrededor de 4.500 toneladas en 27 años, un promedio de 1,4% anual. Aunque el porcentaje de uso del petróleo va a disminuir con el paso del tiempo, la cantidad demandada aumentará. La demanda de las principales fuentes de energía no renovables, como son el petróleo, el gas natural o el carbón, va a disminuir frente al aumento de la energía hidroeléctrica y energías renovables.

A nivel mundial la renta y la población serán las que promuevan la demanda creciente de energía, y casi la totalidad del crecimiento previsto (96%) hasta 2040 se corresponde a miembros de la OCDE, y más de la mitad será de India y China. En 2021 EE.UU. llegará a ser insuficiente en energía, y dependiente de las exportaciones de petróleo en 2030 (Informe BP Energy Outlook 2035).

Aunque haya una tendencia alcista en el consumo de energía, en 2015 en la UE se produjo un crecimiento debido al aumento de energías renovables para la generación de electricidad, llegando a ser la responsable del 37,7% de la producción mundial de energías renovables, con una disminución del carbón y la energía nuclear (BP Statistical Review of World Energy 2016).

En España el consumo energético creció, pero en la producción de energía se reemplazó la energía hidráulica por el carbón, así la demanda de energía se cubre mediante la producción de petróleo, gas natural y carbón, mientras que otras fuentes de energía como la hidroeléctrica y las energías renovables han ido perdiendo peso a lo largo de estos últimos años (BP Statistical Review of World Energy 2016).

9. BUENAS PRÁCTICAS.

El aumento del consumo de energías no renovables y su escasez lleva a los países a pensar en invertir en tecnología e infraestructuras con las que conseguir energías que produzcan el menor impacto ambiental, que sean igual de eficientes que las no renovables y que aprovechen el medio ambiente al máximo.

Para ello, en 2004, en la Conferencia Europea de Berlín, la UE propuso a sus estados miembros que en 2020 se llegara a un mínimo de uso del 20% de energías renovables. Ante esta propuesta hubo países que están haciendo todo lo posible para llevar a cabo una mejora energética mediante la creciente utilización de energías renovables y limpias. Entre los países que más invierten en energías limpias y renovables están Dinamarca, Letonia, Suecia, Finlandia y Austria (Sostenibilidad para todos. Acciona, 2015. <https://www.acciona.com/es/sostenibilidad/>).

Suecia ha logrado que el consumo de biomasa sea mayor que del petróleo, llegando a ser rentable la utilización de la biomasa a través de buenas medidas políticas en materia de energía. También está ligado con la energía eólica, utilizando el archipiélago de Aland, situado entre la frontera de Finlandia y Suecia, para conseguir energía limpia y renovable (Sostenibilidad para todos. Acciona, 2015. <https://www.acciona.com/es/sostenibilidad/>).

Aprovechando la energía eólica, *Finlandia* llega a cubrir cerca del 40% del consumo energético, porcentaje que va en aumento (Sostenibilidad para todos. Acciona, 2015. <https://www.acciona.com/es/sostenibilidad/>).

Letonia ha aprovechado su localización geográfica para explotar la energía eólica, energía más viable y desarrollada en el país. Zonas con localización perfecta para este tipo de energías son la costa del mar Báltico y la costa oriental del golfo de Riga (Sostenibilidad para todos. Acciona, 2015. <https://www.acciona.com/es/sostenibilidad/>).

Austria es un ejemplo más de desarrollo económico basado en energías renovables, ya que utiliza la biomasa para cubrir más de un tercio del consumo de ese país (Sostenibilidad para todos. Acciona, 2015. <https://www.acciona.com/es/sostenibilidad/>).

El caso que más sorprende es el de *Dinamarca*, país que se ha propuesto ser 100% ecológico en 2035 y no depender de combustibles fósiles para 2050. Sorprende tener objetivos tan altos a tan corto plazo, pero todo ello viene acompañado por el apoyo político del país, donde se han creado medidas de política energética que promueve la utilización de energías limpias (Sostenibilidad para todos. Acciona, 2015. <https://www.acciona.com/es/sostenibilidad/>).

Aunque en este caso no sea un país completo, nos encontramos ante zonas geográficas que, independientemente de las políticas energéticas de su país, están trabajando para utilizar energías limpias. Es el caso de la isla de El Hierro, en España, isla con una población de alrededor de 10.000 habitantes, ha conseguido que, en 2014, el 70% de la energía consumida sea completamente renovable, en este caso energía eólica. Un buen dato pensando que va a ir a más y algún día pueda cubrir por completo las necesidades de toda la isla (El Mundo Ciencia: El Hierro, una isla 100% renovable. 2015)

Con el objetivo de fomentar el cambio hacia energías renovables en España se ponen a disposición fondos, subvenciones y programas por parte del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (www.idae.es).

Entre los países no pertenecientes a la Unión Europea que han invertido en el desarrollo de energías renovables, está Estados Unidos, que cuenta con un

consumo de energías limpias de alrededor de un 15%, mientras que China lo hace en un 30% (Sostenibilidad para todos. Acciona).

10. CONCLUSIONES.

Los recursos naturales no renovables son finitos, por ello tenemos que ser conscientes de que la transición de los recursos no renovables a otras alternativas afines está en nuestras manos.

Como se ha descrito anteriormente, mediante buenas prácticas algunos países están tomando conciencia e invirtiendo para lograr un mundo más sostenible y respetuoso con el medio ambiente. Sin embargo, una dificultad añadida viene del hecho de que muchos de los recursos que se utilizan y que están muy demandados por sus propiedades son no renovables.

La escasez de recursos naturales no renovables se ha relacionado directamente con la población mundial, considerando que ésta es la causante del creciente consumo y agotamiento de los recursos naturales no renovables.

Que la escasez lleve a provocar un aumento general de los precios no parece ser un gran problema, porque se sigue pagando igualmente, aumentando también en algunos casos el margen de beneficio, ya que los recursos no renovables se revalorizan ante su escasez.

A este paso de demanda de energía la UE en 2035 retrocederá a niveles de hace cincuenta años, pero el crecimiento económico será un 150% mayor (Informe BP Energy Outlook 2035). Ante unas perspectivas alcistas de demanda de energía, el petróleo y el gas continuarán siendo unas fuentes de energía esenciales para el crecimiento, obviando una transición hacia energías renovables por parte de los países que más demandan energías no renovables.

Ante perspectivas en las que el uso de energías no renovables aumente, la sociedad se debería concienciar y reducir la utilización de esos recursos para así ralentizar su agotamiento, ya que el crecimiento de las energías renovables será de un 3% a lo largo de los siguientes treinta años (Informe BP Energy Outlook 2035).

Por otra parte, la exploración de la Tierra en busca de nuevos yacimientos de recursos puede ser una medida eficaz a corto plazo, pero debe tenerse

también en cuenta los costes o el impacto ambiental que supone la exploración.

Parece ser que mientras haya yacimientos de petróleo, gas y carbón no se dejarán de usar estas fuentes de energía, pero a medida que avanza su extracción la exploración cada vez va a ser más incierta, los costes van a aumentar a medida que queden menos territorios de la Tierra por explorar, y aunque los avances tecnológicos supongan una mayor accesibilidad a la extracción de estas energías no renovables, hay que tener claro que estas fuentes energéticas existen en una cantidad finita. No se puede pensar que estos recursos naturales no renovables van a estar disponibles siempre, o en un pensamiento más egoísta, van a estar “mientras yo viva”. Por ello hay que mirar siempre al futuro y pensar en la disponibilidad de unos recursos alternativos que sean renovables, limpios y eficaces. Ésto sería lo ideal y lo mejor para la sociedad, y así poder usar la reutilización de los recursos o tomar conciencia de su gestión óptima para alargar la vida útil, al mismo tiempo que se investiga en hacer útiles otros recursos que puedan valer en la misma medida.

La incertidumbre cada día que pasa es mayor a la hora de encontrar recursos no renovables en la Tierra, lo que puede producir, como no se actúe a tiempo, una recesión a nivel mundial. Esta recesión se puede traducir en la limitación de recursos para el ser humano, al no cubrir las necesidades.

Los desechos que pueden llegar a generar recursos no renovables en la extracción, en su utilización y lo que puede quedar después de haber sido consumidos conllevan unos costes de destrucción, almacenamiento o reutilización que se suman a los costes ambientales y tecnológicos.

El reciclaje energético en los países europeos alcanzan unos niveles del 50%, mientras que en España, a pesar de tener tecnologías que se utilizan en la recomposición de los residuos con procesos de tratamiento térmico y biológico, sólo llega a un 13%, muy por debajo de la media europea (Estudio técnico PER 2011-2020).

Como ejemplo de buenas prácticas en el reciclado energético se encuentra Suecia, país que recicla los residuos en energía, cubriendo así la demanda de electricidad de muchos hogares, parte de la demanda de calefacción y de agua caliente.

Con todo esto, evitar situaciones catastróficas está en nuestras manos cambiando las preferencias de consumo de energía hacia energías renovables y limpias que aseguren un futuro sostenible para las generaciones futuras.

También hay que ser conscientes de los efectos medioambientales que causan los recursos naturales no renovables, como puede ser el efecto invernadero producido por los gases que se desprenden de la extracción, y el calentamiento global. Para ello se han impuesto medidas para que el impacto medioambiental sea el menor posible, entre los mencionados en este trabajo figuran el Protocolo de Kioto o el denominado impuesto pigouviano.

11. WEBGRAFÍA.

- Acciona. Sostenibilidad para todos. 2015. Disponible en: <https://www.acciona.com/es/sostenibilidad/> [Consulta 02/04/2017].
- Agencia Internacional de la energía y Secretaría técnica de Repsol. Disponible en: https://www.repsol.com/es_es/corporacion/conocer-repsol/contexto-energetico/matriz-energetica-mundial/ [Consulta 06/02/2017].
- Blog de Eco finanzas: “Pensamiento económico de David Ricardo”. Disponible en: <http://www.ecofinanzas.com/economia/economistas/David-Ricardo-Pensamiento-economico.htm> [Consulta 06/02/2017].
- BP Energy Outlook 2035. Disponible en: http://www.bp.com/es_es/spain/conozca-bp/informes-y-publicaciones/bp-energy-outlook.html [Consulta 22/03/2017].
- BP Statistical Review of World Energy 2016. Disponible en: http://www.bp.com/es_es/spain/prensa/notas-de-prensa/2016/bp-statistical-review-world-energy-2016.html [Consulta 22/03/2017].
- Departamento de energía de BP. Disponible en: http://www.bp.com/es_es/spain/prensa/notas-de-prensa/2016/bp-statistical-review-world-energy-2016.html. [Consulta 20/03/2017].
- Desarrollo Sostenible: “Informe Brundtland”. Disponible en: <https://desarrollosostenible.wordpress.com/2006/09/27/informe-brundtland/> [Consulta 06/02/2017].

- Ecobachillerato: “Vida y teoremas económicos de Thomas Malthus”. Disponible en: <https://www.ecobachillerato.com/economistas/malthus.htm> [Consulta 06/02/2017].
- Economía ambiental: “Hipótesis de Porter”. Disponible en: <https://economiaambientalgt.wordpress.com/hipotesis-de-porter/> [Consulta 06/02/2017].
- El Mundo Ciencia: “El Hierro, una isla 100% renovable”. Disponible en: <http://www.elmundo.es/ciencia/2015/08/12/55ca2c7e22601d600a8b458d.html> [Consulta 06/02/2017].
- Estudio técnico PER 2011-2020. Disponible en: <http://www.certificadosenergeticos.com/generacion-energia-basura-energia-100-limpia> [Consulta 22/03/2017].
- Externalidades de la energía y su valoración. Universidad de Comillas: Métodos Top-down (Hohmeyer, 1988), Costes de Control (Bernow y Marron, 1990) y EnternE (Comisión Europea, 1991). Disponible en: <https://www.iit.comillas.edu/pedrol/documents/gago02.pdf> [Consulta 22/03/2017].
- ISR y Cicloplast: “Energías Renovables y reciclaje energético”. Disponible en <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/36248-Energias-renovables-y-reciclaje-energetico-de-los-residuos-los-nuevos-retos-del-siglo-XXI.html> [Consulta 22/03/2017].
- Jordi Roca: “La teoría sobre el precio de los recursos no renovables: un comentario crítico”. Disponible en: https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/5419/34307_5.pdf?sequence=1 [Consulta 06/02/2017].
- Ministerio de Agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente: “Protocolo de Kioto”. Disponible en: <http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contr-el-cambio-climatico/naciones-unidas/protocolo-kioto.aspx> [Consulta 06/03/2017].

- Programas, fondos y ayudas del IDAE. Disponible en: <http://www.idae.es/index.php/idpag.33/relcategoria.1024/reلمenu.377/mod.pags/mem.detalle> [Consulta 06/02/2017].
- Richard Duncan: “La teoría de Olduvai”. Disponible en: <https://www.crisisenergetica.org/staticpages/index.php?page=20040205174031934> [Consulta 20/03/2017].
- Viabilidad energética: “Top 5 países en energías no renovables”. Disponible en: <http://www.sostenibilidad.com/top-5-paises-energias-renovables> [Consulta 06/02/2017].
- Zero Hedge: “Gold and economic decline”, by Gregor Macdonald. Disponible en: <http://www.zerohedge.com/news/guest-post-gold-and-economic-decline?page=2>. [Consulta 06/02/2017].

12. BIBLIOGRAFÍA.

- Azqueta, D. (1994): “La problemática de la gestión óptima de los recursos naturales: aspectos institucionales”, en Azqueta, D. y Ferreiro, A. (eds.), *Análisis económico y gestión de recursos naturales*, Alianza Economía, Madrid, pp. 51-72.
- Bernow, S.S. y Marron, D.B. (1990). *Valuation of environmental externalities for energy planning and operation*. Tellus Institute, Boston.
- European Commission (1995). *Externalities of fuel cycles “ExternE” Project. Report 2, Methodology*. European Commission, DGXII, Luxemburgo.
- Ferreiro, A., (1994): “Modelos de explotación de recursos no renovables”, en Azqueta, D. y Ferreiro, A. (eds.), *Análisis económico y gestión de recursos naturales*, Alianza Economía, Madrid, pp. 163-180.
- Gómez, C. M. (1994): “Desarrollo sostenible y gestión eficiente de los recursos naturales”. Azqueta, D. y Ferreiro, A. (eds.), *Análisis económico y gestión de recursos naturales*, Alianza Economía, Madrid, pp. 73-100.
- Hohmeyer, O. (1988). *Social costs of energy consumption*. Springer Verlag, Berlin.

- Hotelling, H. (1931): "The economics of exhaustible resources". *Journal of Political Economy*, Issue 2, pp. 137-175.
- Malthus, T. *Ensayo sobre el principio de la población* (1798) y *Principios de economía política* (1820).
- Meadows, D., Meadows, D., Behrens, W., Randers, J. (1972). *Los límites del crecimiento*. Fondo de cultura económica. México
- Nordhaus, W. y Tobin, J. (1972). *Economic Research: Retrospect and prospect, Volume 5, Economic Growth*, págs. 1-80.
- Pearce, D.W., Bann, C. y Georgiou, S. (1992). *The social costs of fuel cycles. A report to the UK Dept. of trade and industry*. HMSO, Londres.
- Pearce, D.W. y Turner, J. (1995). *Economía de los recursos naturales y del medio ambiente*. Ediciones Celeste.
- Perman, R., Ma, Y., McGilvray, J., Common, J., (2003): "Chapter 2: The origins of the sustainability problem", "Chapter 3: Ethics, economics and the environment", "Chapter 14: The efficient and optimal use of natural resources", "Chapter 15: The theory of optimal resource extraction: non-renewable resources". *Natural Resource and environmental economics*. 3rd Edition. Pearson Education Limited 2003, pp. 16- 55, pp. 56- 81, pp. 473- 505, pp. 506- 534.
- Pigou, A. (1932). *The economics of welfare*. Cuarta Edición. Macmillan. Londres.
- Porter, M. (1991). *La ventaja competitiva de las naciones*. Edición Vergara.
- Ricardo, D. (1817): *Principios de economía política y tributación*. John Murray, Londres.
- Riera, P., García, D., Kriström, B., y Bränlund, R. (2005). *Manual de economía ambiental y de los recursos naturales*. Editorial Thomson Paraninfo. Madrid.