

# El valor del capital natural, un indicador en la sostenibilidad de la extracción del carbón colombiano (2004-2011)

Luis Andrés Salas Portillo\*

Adrián Saldarriaga Isaza\*\*

## Resumen

Este artículo muestra una aplicación de la metodología del Valor Capital Natural en tiempo discreto de Maller (2001) buscando responder a la pregunta de si la extracción de carbón ha sido sostenible para Colombia, entre 2004 y 2011. Se estima el excedente del consumidor y del productor, a través de la estimación de una función de demanda para el carbón colombiano y los estados financieros de las empresas del sector carbonífero en Colombia respectivamente. La suma de dichos excedentes da una medida de bienestar social, que junto con la tasa de descuento ambiental para Colombia determina los precios sombra bajo dos modelos de asignación de los recursos (autónoma y no autónoma). Analizando esta información y el indicador de sostenibilidad empleado se concluye que la extracción de carbón en Colombia para el periodo no ha mostrado una senda sostenible.

**Palabras Clave:** Bienestar intergeneracional, valor del capital natural, precio sombra, sostenibilidad.

## Abstract

This paper shows an application of Maller's (2001) Value of Natural Capital method in discrete-time. The method is used to answer the question of whether coal extraction has been sustainable for Colombia between 2004 and 2011. Consumer surplus and producer surplus are computed with the estimation of a demand function for coal in Colombia, and the financial statements of coal companies in Colombia respectively. The sum of these surpluses is used as a measure of social welfare, which together with the environmental discount rate for Colombia determines the shadow

---

Recibido: 22/08/2014      Aceptado: 20/11/2014      Versión final: 30/01/2015

\* Economista y estudiante de Maestría en Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. lasalas@unal.edu.co

\*\* Profesor Asistente de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. Doctor en Ingeniería, Sistemas e Informática de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Magister en Economía de Recursos Naturales y del Medio Ambiente de la Universidad de Concepción en Chile. casaldarriagai@unal.edu.co

prices under two models of resource allocation (autonomous and non-autonomous). The analysis of results suggests that the extraction of coal in Colombia for the period has shown a unsustainable path.

**Keywords:** Intergenerational well-being, value of natural capital, shadow price, sustainability.

**JEL Classification:** C20, D61, D99, O10, O50, Q30.

### Résumé

Cet article présente une application de la méthodologie de la valeur du capital naturel capital de Maller (2001) cherchant à répondre à la question de savoir si les mines de charbon a été durable pour la Colombie, entre 2004 et 2011. Le surplus du consommateur producteur est estimée, à l'estimation d'une fonction de la demande de charbon colombienne et les états financiers des sociétés dans le secteur carbonifère en Colombie. La somme de ces excédents donne une mesure du bien-être social qui, avec l'environnement de taux d'actualisation pour la Colombie, détermine les prix de référence dans deux modèles d'allocation des ressources (autonome et non autonome). L'analyse de ces informations et l'indicateur de la durabilité de l'employé prend fin ce qui suggère que l'extraction du charbon en Colombie pour la période a montré une voie durable.

**Mots-Clés:** le bien-être intergénérationnel, la valeur du capital naturel, le prix sombran, durabilité.

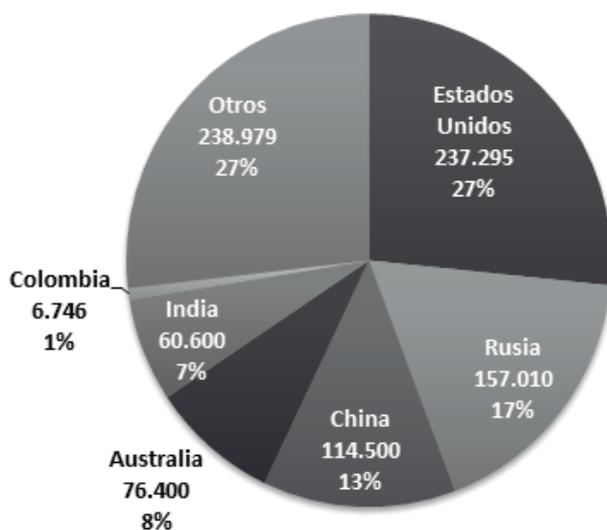
## I. Introducción

### A. El Carbón en el mundo.

El carbón viene concentrando una mayor importancia exploratoria y extractiva por ser una fuente confiable de energía, con una mayor dinámica del mercado explicada por el alto crecimiento económico de economías emergentes como China e India. Esta demanda sumada a las que ya tenían Corea del Sur y Tailandia, genera la necesidad de buscar mercados confiables como Colombia para abastecer su consumo (La República, 2012). Esto se da, no obstante, en un contexto internacional marcado por la búsqueda de tecnologías bajas en carbono que precisamente logren sustituir el uso de combustibles fósiles como el carbón.

Según el Consejo Mundial de la Energía, en términos generales, a fines del 2011 el mundo tenía más de 890 mil millones de toneladas de carbón en reservas probadas (WEC, 2013), donde las mayores reservas por país se encuentran en Estados Unidos con el 26,6%, la Federación Rusa el 17,6%, China el 12,8%, Australia el 8,6% e India el 6,8%; mientras que Colombia se ubicaba en el décimo primer lugar con 6.746 millones de toneladas, equivalentes al 0,8% de las reservas mundiales (ver Gráfico 1).

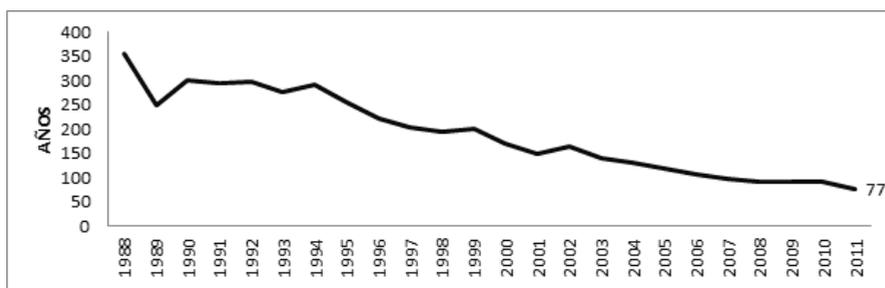
**Gráfico 1. Reservas Mundiales de Carbón a 2011 (Millones Toneladas)**



Fuente: Elaboración propia con datos de WEC (2013).

Por otra parte, la relación reserva-producción (R/P) presentada por WEC (2013) muestra que las reservas de carbón a nivel mundial, de continuar con la producción de 2011, duraría poco más de 100 años, y en Colombia durarían cerca de 79 años. Similarmente, según datos de la Unidad de Planeación Minero Energética<sup>1</sup> y cálculos de los autores, dado el nivel de producción y reservas de carbón a 2011, en Colombia las reservas de carbón darían para 77 años. Se evidencia así una tendencia decreciente al observar la disminución en la expectativa de reservas de carbón de Colombia al pasar de 203 años en 1997, a menos de 100 años en el 2011 (ver Gráfico 2).

**Gráfico 2. Relación Reserva-Producción de carbón para Colombia 1988-2011.**



Fuente: elaboración propia con datos de la UPME.

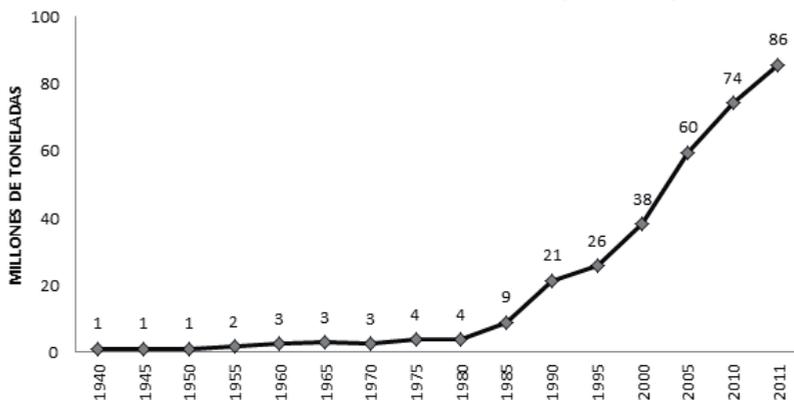
<sup>1</sup> Datos extraídos mediante consulta hecha en <http://www.upme.gov.co/>

La evolución del sector carbonífero y el inicio de la explotación del carbón en Colombia inician con la aparición del ferrocarril a vapor en el país a comienzos del siglo XX. En este inicio el carbón empezó a ser demandado aproximadamente en 250 mil toneladas anuales por el transporte ferroviario, los hogares, hornos de sal, las industrias del cemento y de textiles (UPME, 2006).

Posteriormente, a mediados del siglo XX Colombia empieza a diversificarse en actividades industriales generando un aumento en la demanda de energía eléctrica y de carbón: se desarrollaron proyectos como la construcción de la hidroeléctrica Paz del Río en 1954, y las termoeléctricas de Paipa en 1956 y Yumbo en 1958. Esto trajo un aumento considerable de la producción de carbón al pasar de 1,15 millones de toneladas en 1940 a 1,85 millones de toneladas en 1955 (Franco, 2004). Sin embargo, entre 1960 y 1970 el consumo del carbón presentó una desaceleración por bajas en los precios del petróleo, el gas, el incentivo a la energía hidroeléctrica y el remplazo del carbón en los hogares por el gas licuado del petróleo (UPME, s.f.).

En 1973, la relación del carbón con el petróleo como sustituto energético, representa un sustancial impulso a la explotación y la producción del carbón a nivel mundial, a raíz de la crisis surgida del conflicto árabe-israelí que condujo a recortar la extracción del crudo (UPME, 2006). El impulso mencionado de la crisis mundial del petróleo de 1973 se ve reflejado en Colombia por la iniciativa estatal y privada de hacer crecer el sector carbonífero. Es así como en 1976 el Estado se asocia con la Corporación Norteamericana Exxon para explotar el carbón de El Cerrejón Zona Norte dando pie a la minería de cielo abierto (Viloria, 1998). Ya en 1980, la segunda crisis petrolera dada por la guerra entre Irán e Irak que eleva el precio del petróleo, realza el despeje de la producción de carbón en el país y marca el inicio del crecimiento del sector (ver gráfico 3). Hoy en día la explotación de carbón en su mayor parte se da a cielo abierto, la extracción subterránea escasamente se visualiza, y la producción anual supera los 80 millones de toneladas (UPME, 2014a).

**Gráfico 3. Producción de Carbón en Colombia(1940-2011).**



Fuente: elaboración propia con datos de la UPME.

Por otra parte, la perspectiva de crecimiento del mercado internacional de carbón junto al proyecto de la consolidación del sector minero promulgado por el gobierno nacional, han generado buenas perspectivas para las compañías de carbón asentadas en el país. No obstante las buenas expectativas que hay sobre el desarrollo del sector minero en Colombia, la existencia del carbón es obviamente limitada y como lo mencionamos al principio, sus reservas están para no más de 80 años de continuarse con los actuales niveles de extracción. Una inadecuada gestión del mineral, al no hacer uso óptimo del recurso natural y no reinvertir adecuadamente los ingresos de su utilización, no va a salvaguardar el bienestar de las generaciones presentes y mucho menos las futuras. De ahí la importancia de modelos que permitan evaluar si es sostenible la extracción de recursos naturales no renovables.

### ***B. Medición de sostenibilidad del manejo de recursos naturales.***

Hay medidas convencionales de ingreso para evaluar el desarrollo de la extracción tales como el producto interno bruto (PIB) o el producto nacional neto (PNN). Esto, sin embargo, es un problema para las economías altamente dependientes de la venta de sus recursos naturales no renovables porque la extracción del mineral, si bien aumenta el valor del PIB o el PNN en el presente, disminuye la capacidad de producir ingresos futuros al disminuir la base o stock del recurso (Orihuela, 2008).

Usando medidas de bienestar social, P. Dasgupta y K.G. Mäler (2000, 2001a y 2001b) han planteado propuestas teóricas para evaluar si la extracción de un recurso natural es sostenible. Dichas propuestas han sido puestas a prueba para latinoamérica en tres trabajos con relación al petróleo en esta región (Aniyar, 2003; Orihuela, 2008; Vergara y Salgado, 2009). A fin de aportar a la discusión sobre la sostenibilidad de la extracción de estos recursos naturales, en este trabajo se pretende evidenciar si la extracción de carbón en Colombia ha sido sostenible para el periodo comprendido entre 2004 y 2011, a través del enfoque Valor del Capital Natural en tiempo discreto de Mäler (2001).

Para ejecutar esta tarea se utiliza los datos de extracción, gastos, precios, costos e ingresos del stock carbón en Colombia. El trabajo se desarrolla bajo un marco teórico donde se define y contextualiza la valoración de la extracción sostenible de un recurso natural de acuerdo a los propuesto por Dasgupta y Mäler (2001a y 2001b), para tiempo discreto (Mäler, 2001). Luego de explicar el modelo teórico, se plantea una metodología empírica donde se describe el proceso para determinar si la extracción del carbón en Colombia entre 2004 y 2011 ha sido sostenible, para posteriormente mostrar y discutir los resultados empíricos de la aplicación del modelo de Mäler (2001) para la extracción de carbón colombiano. Se finaliza el trabajo con conclusiones y recomendaciones.

## II. Marco teórico

### A. La Economía y el Desarrollo Sostenible

La definición de recursos naturales puede tomar diferentes rumbos según el criterio que se utilice. Para este caso, se toma su visual económica donde se define a los recursos naturales así: "son factores que afectan a las actividades productivas, pero que no han sido hechos por el hombre, ni tampoco a través de un proceso de fabricación iniciado por el hombre" (URL, 2004, pág. 8). Por su parte, el concepto de capital natural se refiere en general a todos los activos naturales a los que se refieren los recursos naturales tanto tangibles y no tangibles como petróleo, carbón o los bosques con su servicio de secuestro de carbono (Vergara, 2005).

Una clasificación común de los recursos naturales es la de renovables y no renovables. Los recursos renovables no se agotan por su utilización, siempre y cuando la velocidad con la que se utiliza sea menor a la de su recuperación (Field, 2001). Por otro lado, Rodríguez (2002) utiliza una clasificación de los recursos naturales no renovables basándose en la velocidad de reposición del recurso cuando son usados, planteando así dos conceptos de recursos no renovables: (1) un recurso natural no renovable define la propiedad de un recurso que si se consume deja de existir, como por ejemplo el carbón;(2) un recurso natural no renovable con servicios reciclaje en que su utilización no genera su eliminación porque puede ser recuperado en su totalidad o partes de lo consumido a través del reciclaje, como es el caso del oro o hierro (Rodríguez, 2002).

Un concepto obligado en lo que se refiere a la gestión de los recursos no renovables es la sostenibilidad (Field, 2001). En este sentido, uno de los pronunciamientos precursores de la interpretación de desarrollo sostenible, planteado en el Report of the World Commission on Environment and Development de 1987, nos dice que el desarrollo sostenible tiene límites pero la humanidad tiene la capacidad de lograrlo siempre que asegure las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (ONU, 1987).

Dentro del mismo concepto de sostenibilidad han surgido subconceptos como sostenibilidad débil y sostenibilidad fuerte. La sostenibilidad débil se da al admitir sustitución entre el capital natural y el capital producido en la medida que las generaciones presentes le dejen un stock global al menos igual al que recibieron a las generaciones futuras. El concepto sostenibilidad fuerte, por su parte, no admite sustitución entre el capital natural y el capital producido (Azqueta, 2002).

Ya para 1992, en la Conferencia de Río 92, La Cumbre de la Tierra, se plantea el desarrollo sostenible como tema central del debate. De esta cumbre sale a relucir la definición del desarrollo sostenible como "mejorar la calidad de vida humana sin rebasar la capacidad de carga de los ecosistemas que la sustentan" (UICN/PNUMA/WWF, 1991), y se plantean estrategias para lograr el desarrollo sostenible (FAO, 1995), proyectándose también la necesidad de buscar un modelo de desarrollo sostenible.

## B. Valoración de recursos naturales

Existen diversos métodos y enfoques para valorar los recursos naturales y la sostenibilidad de su uso<sup>2</sup>. El enfoque más citado internacionalmente es el de cuentas ambientales propuestas por el Banco Mundial donde se plantea la integración en las cuentas nacionales y el valor del capital natural (CEPAL, 2005). En este enfoque se presentan dos métodos representativos. Uno de estos métodos es desarrollado por Salah El Serafy ajustando las cuentas nacionales con el método del costo de uso; en otras palabras, del Producto Interno Bruto se desagrega el valor de agotamiento del PIB para obtener el Producto Interno Neto Verde (Falconí, 2002). Otro método, planteado por Repetto (1992), ajusta las cuentas nacionales con el método de depreciación; es decir, a la renta nacional le descuenta la depreciación por la maquinaria, del uso del suelo y otros activos para obtener la renta neta ambiental (Carvajal, 1996).

Otro método utilizado es el ahorro genuino o ahorro neto ajustado propuesto por el Banco Mundial. Éste consiste en deducir al ahorro del país, surgido de restarle al PIB el consumo, la depreciación de los recursos naturales, los daños por contaminación y sumarle la inversión en el capital humano (CEPAL, 2001). En este caso, se habla de sostenibilidad si el ahorro genuino es positivo.

Por otro lado, Dasgupta y Mäler (2001a) plantean un indicador de sostenibilidad bajo un análisis intertemporal del bienestar que considera economías imperfectas, los mecanismos de asignación y su autonomía con respecto a la variación del precio mundial de los recursos (Vergara, 2005).

De acuerdo a Dasgupta y Mäler (2001a), el valor del capital natural (carbón en este trabajo) en el año  $t$  ( $W_t$ ) es definido como el precio sombra del carbón ( $p_t$ ), dado el stock de reservas probadas en el tiempo  $t$  ( $S_t$ ):

$$W_t = p_t * S_t \quad [1]$$

El precio sombra es definido como el cambio en el bienestar ( $V_t$ ) derivado del cambio en una unidad del stock de carbón  $S_t$  (Dasgupta y Mäler, 2000; 2001a):

$$p_t = \frac{\partial V_t}{\partial S_t} \quad [2]$$

donde:

$$V_t = \sum_{\tau=t}^{\infty} \frac{U(C(\tau))}{(1+\delta)^{\tau-t}} \quad [3]$$

Es importante anotar además que el impacto sobre la función de bienestar social será generado sólo por la producción y el consumo del recurso natural no renovable (carbon colombiano). Además, el cálculo del indicador considera dos modelos desarrollados por Mäler (2001), los cuales difieren en los supuestos de autonomía de los mecanismos de asignación óptima y por ende en los impactos sobre la función de bienestar. Cada uno de estos mecanismos se explica a continuación.

<sup>2</sup> Una discusión de los indicadores de sostenibilidad se pueden encontrar en Arias, (2006).

### **C. Mecanismos de asignación óptima de los recursos carboníferos**

Esta sección es hecha siguiendo el trabajo de Mäler (2001), quien desarrolla un modelo para medir el bienestar y riqueza en tiempo discreto. Con esto se calcula y analiza un indicador de sustentabilidad a partir de la variación del stock de capital carbón en un determinado intervalo temporal.

En esta metodología se plantean dos modelos diferenciados por el mecanismo de asignación del recurso, donde el mecanismo de asignación es el procedimiento por el cual se toman decisiones en torno al uso de recursos o factores productivos. Estos mecanismos pueden ser autónomos o no autónomos. Los mecanismos de asignación de la economía son autónomos en nuestro caso cuando la extracción del carbón no depende de una regla óptima de extracción o perturbaciones externas; es decir, cuando tenemos un mapeo dado a partir de un stock inicial dentro de sendas factibles de consumo que no dependen de una regla óptima de extracción ni de perturbaciones externas. Por lo tanto, el impacto sobre la función de bienestar social es producido sólo por el consumo del recurso natural no renovable, representado en la función de utilidad. En ese sentido, el cambio en el bienestar social se expresa de la siguiente manera:

$$V_{t+1} - V_t = p_t (K_{t+1} - K_t) \quad [4]$$

La ecuación [4] indica que el cambio en el bienestar social dado entre un período y otro inmediatamente anterior está determinado por el cambio en el valor del stock de capital; en este caso el valor del capital carbón. Esto permite analizar la sustentabilidad en la medida que el cambio en la función de bienestar sea no decreciente en el tiempo; es decir,  $(V_{t+1} - V_t) \geq 0$ .

Por otro lado, los mecanismos de asignación de la economía pueden ser no autónomos. Estos mecanismos son no autónomos cuando cambios exógenos inducen cambios en la economía y en la forma en cómo se asigna el recurso (Aniyar, 2003). Es decir, las decisiones de extracción se verán afectadas por factores externos de índole político, tecnológico o de comercio, de carácter internacional (Vergara, 2005). Por consiguiente, cuando los mecanismos de asignación no son autónomos el cambio en el bienestar será:

$$V_{t+1} - V_t = p_t \cdot e \cdot S_{t+1} - p_t R_t \quad [5]$$

donde  $R_t$  es la producción o extracción de carbón y “e” es el promedio de variación anual de los precios del mercado mundial (Mäler, 2001).

## **III. Metodología**

### **A. Descripciones de los procesos**

Se estima una función de bienestar social de la extracción de carbón como la suma de excedentes del consumidor y del productor, lo que considera la estimación de una función de

demanda por carbón en Colombia, el cálculo de los precios sombra a partir de la función de bienestar y el cálculo del grado de sustentabilidad de la extracción del carbón en Colombia, de acuerdo a la disponibilidad de datos, durante los años 2004 y 2011.

Siguiendo lo propuesto por Mäler (2001), se estiman dos modelos: el modelo 1 con un mecanismo de asignación del recurso autónomo, y un modelo 2 con un mecanismo de asignación no autónomo. Para calcular estos modelos se emplea la función de bienestar estimada. Para encontrar el precio sombra se utiliza una tasa de descuento ambiental coherente para Colombia para así poder calcular los modelos y determinar la sostenibilidad de la extracción del carbón en Colombia para el periodo analizado.

Para los cálculos se ha definido la utilización de varias series de tiempo: reservas probadas, precios del carbón, el precio internacional del petróleo (WTI), producción de carbón en Colombia y las utilidades totales de la industria carbonífera (ingreso menos el costo total anual). En cuanto a este último, lo entenderemos como el excedente del productor pues en su cálculo se utilizaron los ingresos, costos y gastos, incluida la parte impositiva de los estados financieros de todas las empresas del sector real inscritas en la Superintendencia de Sociedades dedicadas al sector del carbón según el CIIU (Código Industrial Internacional Uniforme)<sup>3</sup>. La fuente de información y la unidad de medida para cada una de estas variables se muestran en el siguiente cuadro<sup>4</sup>:

**Cuadro 1. Variables y Fuentes de los Datos Utilizados.**

Variable	Fuente	Unidad Anual
Reservas probadas	Servicio Geológico de Colombia (Ingeominas) Unidad de Planeación Minero Energético (UPME) Federación Nacional de Productores de Carbón (Fenalcarbón)	Kilo Toneladas
Precios del Carbón	Servicio de Información Minero Colombiano (SIMCO)	US\$/Ton
Extracción de Carbón en Colombia	Servicio de Información Minero Colombiano (SIMCO)	Millones de Toneladas
Utilidad Total	Superintendencia de Sociedades	Pesos Colombianos
Tasa de Cambio	Banco de la República	Índice
Índice de Precios al Consumidor (IPC)	Banco de la República	Índice

<sup>3</sup> Una explicación más amplia de los datos utilizados se encuentra en Salas (2014).

<sup>4</sup> Los datos se muestran en sus unidades de medida originales. Para efectos del presente trabajo, las unidades monetarias se transforman a dólares de acuerdo al tipo de cambio corriente, y las cantidades de carbón todas se llevan a kilo toneladas.

### B. La tasa de descuento para el cálculo del Precio Sombra

Para el cálculo del precio sombra necesitamos una tasa de descuento. En este trabajo se utiliza la propuesta por Correa (2008) quien resalta la introducción del objetivo de sostenibilidad para abordar proyectos con una elevada proporción de externalidades, tales como los beneficios y costos ambientales, y proyectos cuyos efectos tienen repercusiones importantes a nivel intergeneracional. Para el caso de Colombia, Correa (2008) encontró una tasa de descuento ambiental según el horizonte de evaluación, a saber:

**Cuadro 2. Esquema de Tasas de Descuento Ambientales para Colombia.**

Horizonte de evaluación	Nombre	Tasa marginal de descuento (%)
1 a 5 años	Futuro inmediato	9,45
6 a 25 años	Futuro cercano	6,37
26 a 75 años	Futuro mediano	3,51
76 a 100 años	Futuro lejano	2,86
> 100 años	Futuro muy lejano	2,09

Fuente: (Correa, 2008)

Correa (2008) también añade que si Colombia estuviera obligada a escoger una sola tasa anual constante que represente todo el esquema de descuento móvil para inversiones con objetivos ambientales, entonces dicha tasa debería ser del 8% anual. En razón de ello tomaremos la tasa de descuento de 8%.

### C. Funciones de Demanda del Carbón Propuestas

Tomando como variables el consumo nacional de carbón ( $X$ ), el precio del carbón para consumo nacional ( $P$ ), el precio internacional del petróleo WTI como un sustituto del carbón ( $P_s$ ) (Andrews, 2014)<sup>5</sup> y el nivel de ingreso o renta del país dado por el Producto Interno Bruto ( $M$ ), se propone estimar tres formas funcionales de demanda interna para el consumo de carbón en Colombia (2004-2011):

Función de demanda lineal:

$$X = \beta_0 + \beta_1 P + \beta_2 P_s + \beta_3 M \quad [6]$$

Función de demanda semi-logarítmico:

$$\ln X = \beta_0 + \beta_1 P + \beta_2 P_s + \beta_3 M \quad [7]$$

Función de demanda doble-logarítmico:

$$X = e^{\beta_0} P^{\beta_1} P_s^{\beta_2} M^{\beta_3} \quad [8]$$

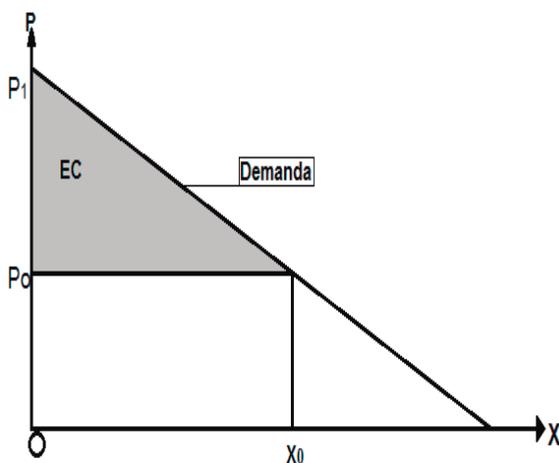
<sup>5</sup> Una justificación para la considerar el petróleo como sustituto del carbón se encuentra en Salas (2014).

A cada una de estas funciones de demanda estimadas se les corrobora el cumplimiento de las siguientes pruebas: test de cointegración, test de raíces unitarias de las variables, test de autocorrelación, test Breusch-Godfrey, test de White, test de Arch, test Jarque-Bera, test de Ramsey y el test de estabilidad estructural.

#### **D. Cálculos de los Excedentes del Consumidor de las Demandas Internas Propuestas.**

El excedente del consumidor (EC) se define de forma simple como la diferencia entre la disposición a pagar del consumidor por unas cantidades, y el precio que efectivamente paga; en otras palabras, es el área definida debajo la curva de demanda con los niveles de precios que estarían dispuestos los consumidores a pagar por cada cantidad y sobre el nivel de precio que efectivamente se paga por las cantidades. En este sentido, EC queda definido en una integral que define el área sombreada del siguiente gráfico:

**Gráfico 4. Excedente del consumidor.**

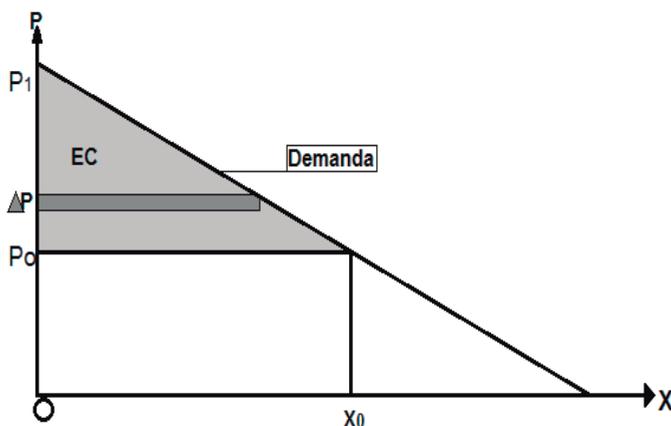


Para encontrar EC en un determinado periodo, dada una función de demanda, se toman los límites de integración en el nivel de precio y las cantidades del periodo que se analice. Se puede partir de una integración del área sombreada con el diferencial de precios:  $EC = \int_{P_0}^{P_1} g(P) dp$  (ver Gráfico 5). Sin embargo, es más fácil integrar con el diferencial de cantidades (ver Gráfico 6), porque utilizando la función inversa de demanda, los límites de integración partirían de cero y la cantidad del momento en que se realice el análisis:

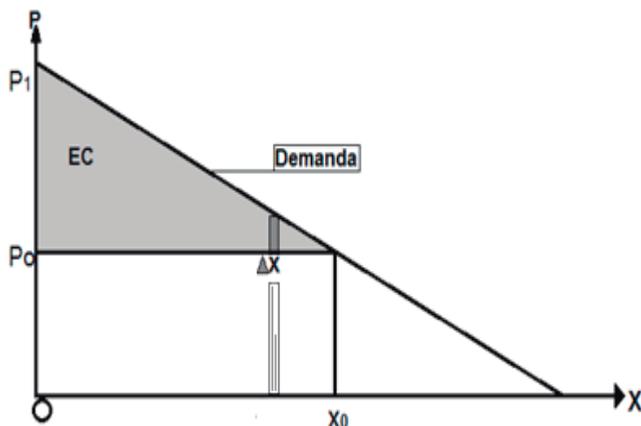
$$EC = \int_0^{X_0} [f(X) - P_0] dx = \int_0^{X_0} f(X) dx - P_0 X_0 \quad [9]$$

En este trabajo se halla el EC con el diferencial de cantidades, el cual permite tener una visión del tiempo presente en el que se estima.

**Gráfico 5. Excedente del consumidor diferencial de precios.**



**Gráfico 6. Excedente Del Consumidor Diferencial De Cantidades.**



Planteando  $X_0 = X_t$ ,  $y$ ,  $P_0 = P_t$ , podemos calcular EC despejando los precios para cada sistema de demanda e integrando bajo los límites de integración del diferencial de las cantidades con límite al precio del periodo, así:

- Para el sistema de demanda lineal:

$$X_t = \beta_0 + \beta_1 P_t + \beta_2 P_s + \beta_3 M \rightarrow P_t = \frac{X_t - (\beta_0 + \beta_2 P_s + \beta_3 M)}{\beta_1}$$

$$\rightarrow EC_t = \int_0^{X_t} \left\{ \left( \frac{X_t - (\beta_0 + \beta_2 P_s + \beta_3 M)}{\beta_1} \right) - P_t \right\} dx_t = \frac{X_t^2}{2\beta_1} - \frac{X_t(\beta_0 + \beta_2 P_s + \beta_3 M)}{\beta_1} - P_t X_t \quad [10]$$

- Para el sistema de demanda semi-logarítmico:

$$\ln X_t = \beta_0 + \beta_1 P_t + \beta_2 P_s + \beta_3 M \rightarrow P_t = \frac{\ln X_t - (\beta_0 + \beta_2 P_s + \beta_3 M)}{\beta_1}$$

$$\rightarrow EC_t = \int_0^{X_t} \left\{ \left( \frac{\ln X_t - (\beta_0 + \beta_2 P_s + \beta_3 M)}{\beta_1} \right) - P_t \right\} dx_t = \frac{X_t \ln X_t - X_t - (\beta_2 P_s + \beta_3 M + \beta_0) X_t}{\beta_1} - P_t X_t \quad [11]$$

- Para el sistema de demanda doble-logarítmico:

$$X_t = e^{\beta_0} P_t^{\beta_1} P_s^{\beta_2} M^{\beta_3} \rightarrow P_t = \frac{X_t^{\left(\frac{1}{\beta_1}\right)}}{M^{\left(\frac{\beta_3}{\beta_1}\right)} P_s^{\left(\frac{\beta_2}{\beta_1}\right)} e^{\left(\frac{\beta_0}{\beta_1}\right)}}$$

$$\rightarrow EC_t = \int_0^{X_t} \left\{ \left( \frac{X_t^{\left(\frac{1}{\beta_1}\right)}}{M^{\left(\frac{\beta_3}{\beta_1}\right)} P_s^{\left(\frac{\beta_2}{\beta_1}\right)} e^{\left(\frac{\beta_0}{\beta_1}\right)}} \right) - P_t \right\} dx_t = \left( \frac{\beta_1}{(\beta_1+1)} \right) \left( \frac{X_t^{\left(\frac{1+\beta_1}{\beta_1}\right)}}{M^{\left(\frac{\beta_3}{\beta_1}\right)} P_s^{\left(\frac{\beta_2}{\beta_1}\right)} e^{\left(\frac{\beta_0}{\beta_1}\right)}} \right) - P_t X_t \quad [12]$$

### E. Cálculo del promedio de variación anual de los precios del mercado mundial (e).

Como se mencionó en la ecuación [5], el valor de “e” es necesario para calcular el cambio en el bienestar cuando los mecanismos de asignación no son autónomos. En términos más detallados, “e” representa el cambio anual relativo, promedio calculado, del precio FOB de exportación de carbón, y se define de la siguiente forma (Vergara, 2005):

$$e = \frac{\sum_{\tau=t}^{\infty} \left( \frac{q_{\tau-1}}{q_{\tau}} - 1 \right) R_{\tau}}{\sum_{\tau=t}^{\infty} R_{\tau}} \quad [13]$$

donde ( $R_t$ ) es la producción o extracción de carbón en el tiempo  $t$  y ( $q_t$ ) es el precio FOB de exportación del carbón colombiano.

## IV. Resultados.

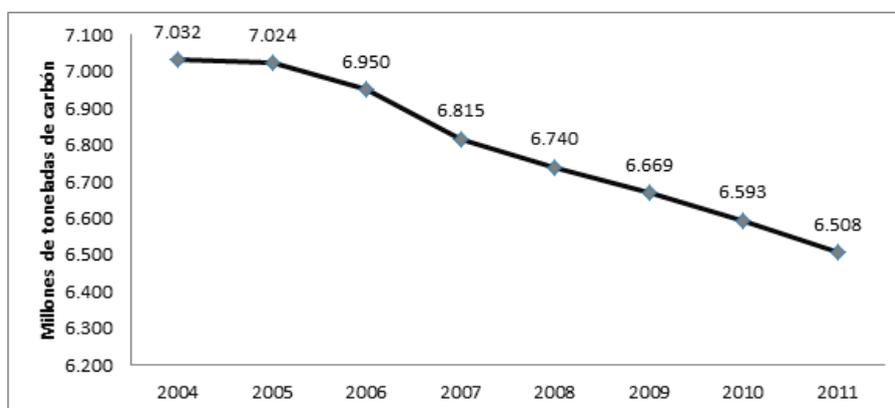
Teniendo en cuenta el registro de la producción y de la relación reservas- producción del carbón para los periodos de análisis, se estima la evolución de las reservas estimadas de carbón en millones de toneladas y la variación porcentual de la extracción en las reservas estimadas de carbón (ver Cuadro 3).

**Cuadro 3. Variación de la extracción en las reservas estimadas de carbón.**

Años	RESERVAS DE CARBÓN (MILLONES TONELADAS)	VARIACION PORCENTUAL DE LA EXTRACCION EN LAS RESERVAS ESTIMADAS DE CARBON
2004	7.032	
2005	7.024	-0,1%
2006	6.950	-1,1%
2007	6.815	-1,9%
2008	6.740	-1,1%
2009	6.669	-1,1%
2010	6.593	-1,1%
2011	6.508	-1,3%

Fuente: elaboración propia con base en datos de UPME.

El Cuadro 3 nos muestra que la variación porcentual de la extracción en las reservas estimadas de carbón entre 2004 y 2011 ha estado alrededor del -1%, en promedio, es decir, ha tendido a decrecer, tal como se muestra en el gráfico 7. Esto, sumado a una constante extracción del recurso, sin hallazgos de nuevas reservas que permitan ser explotadas para añadir al stock de carbón dentro del periodo de análisis, nos señala un agotamiento del recurso además de un incremento del interés de generación de ingresos con la extracción de carbón; de seguir con este incremento a Colombia le quedaría menos de los 77 años, a menos que se hallen nuevas reservas de carbón.

**Gráfico 7. Evolución de las reservas de carbón (millones de toneladas).**

Fuente: elaboración propia con base en datos de la UPME.

### **B. Función de Bienestar Social**

En el cuadro 4 se presentan cuatro criterios estadísticos para realizar una comparación del ajuste y capacidad explicativa de los modelos de demanda propuestos.

**Cuadro 4. Criterios Estadísticos de Comparación entre Modelos de Demanda.**

Prueba	Lineal	Semi-logarítmica	Doble logarítmico	Criterio
<b>R-squared</b>	0,8904	0,8818	0,8253	El mejor modelo es aquel que presente el mayor coeficiente de determinación
<b>Adjusted R-squared</b>	0,8698	0,8597	0,7925	
<b>Akaike info criterion</b>	34,6589	-0,5294	-0,1382	Cuanto menor sea el valor de estos criterios, más adecuado resulta el modelo
<b>Schwarz criterion</b>	34,858	-0,3303	0,0609	

Fuente: elaboración propia.

Observando el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de McFadden, el  $R^2$  ajustado, el criterio de información de Akaike, y el criterio de Schwartz, se tiene que el modelo semi-logarítmico registra la mejor combinación de ajuste y capacidad explicativa comparada con los resultados del modelo lineal y doble-logaritmo. Por esta razón, el modelo de demanda semi-logarítmico es el seleccionado de las tres formas funcionales consideradas en el análisis.

La función de bienestar social, en este caso la función de utilidad, es la suma del excedente del productor (EP) y el excedente del consumidor (EC). Dicho excedente del consumidor se calcula con los parámetros de la función de demanda semi-logarítmica establecida (ver ecuación [11]). De manera similar, la función de bienestar social marginal es la suma de los excedentes marginales tanto del consumidor como del productor, denotados “EC marginal” y “EP marginal” respectivamente. Para calcular estos excedentes marginales se calcularon los excedentes dada una unidad adicional de carbón (kilo tonelada), los cuales se denotan  $EC(C+1)$  o  $EP(C+1)$ . A dichos excedente se les resta el excedente sin la unidad adicional para obtener el excedente marginal del periodo.

El resultado de EP marginal arroja cifras que superan los 95 millones de dólares para cada uno de los años analizados con excedentes marginales entre mil y 4.800 dólares por kilo tonelada para el periodo analizado.

**Cuadro 5. Excedente Marginal del Consumidor (US\$)**

Año	EC(C+1)	EC	EC marginal (US\$/kTon)
2004	95.062.429	95.060.647	1.783
2005	141.689.273	141.686.880	2.393
2006	152.438.440	152.436.118	2.322
2007	178.855.690	178.853.112	2.577
2008	276.046.795	276.043.020	3.774
2009	254.911.974	254.908.454	3.520
2010	285.765.520	285.761.658	3.862
2011	404.894.540	404.889.803	4.737

Fuente: elaboración propia.

Para el caso del excedente del productor, como se mencionó anteriormente, es el resultado de deducir los costos y gastos, incluida la parte impositiva, del ingreso en los estados financieros de todas las empresas dedicadas al sector del carbón que se denota por el código CIU.

**Cuadro 6. Excedente Marginal del productor (US\$).**

Año	EP	EP(C+1)	EP Marginal (US\$/kTon)
2004	348.148.441	348.148.448	6.461
2005	459.689.120	459.689.128	7.703
2006	356.476.495	356.476.500	5.386
2007	356.624.947	356.624.952	5.102
2008	831.511.011	831.511.023	11.313
2009	492.108.512	492.108.519	6.759
2010	539.682.986	539.682.993	7.259
2011	866.027.604	866.027.614	10.093

Fuente: elaboración propia.

Hecho lo anterior, se suman los excedentes, EP y EC, para obtener la utilidad total según la función de demanda semi-logarítmica. La importancia del cálculo de estos excedentes es más trascendental, debido a la interpretación de su efecto sobre el indicador de sostenibilidad a través de los precios sombra y el contraste que representa en el análisis sobre el valor del capital natural.

**Cuadro 7. Utilidad Total US\$.**

Año	Utilidad Total (EC + EP)	EC	EP
2004	443.209.088	95.060.647	348.148.441
2005	601.376.000	141.686.880	459.689.120
2006	508.912.613	152.436.118	356.476.495
2007	535.478.059	178.853.112	356.624.947
2008	1.107.554.032	276.043.020	831.511.011
2009	747.016.967	254.908.454	492.108.512
2010	825.444.644	285.761.658	539.682.986
2011	1.270.917.406	404.889.803	866.027.604

Fuente: elaboración propia.

Similarmente, la utilidad marginal del carbón se calcula como la suma de los excedentes marginales del productor y del consumidor.

**Cuadro 8. Utilidad Marginal (US\$/kTon).**

Año	Utilidad Marginal	EC marginal	EP Marginal
2004	8.243	1.783	6.461
2005	10.096	2.393	7.703
2006	7.707	2.322	5.386
2007	7.679	2.577	5.102
2008	15.087	3.774	11.313
2009	10.279	3.520	6.759
2010	11.121	3.862	7.259
2011	14.831	4.737	10.093

Fuente: elaboración propia.

El cuadro 8 muestra un aumento record en la utilidad marginal al incrementar el consumo del carbón en una kilo tonelada para el periodo de 2008. El excedente del productor representa la mayor influencia sobre la variación de la utilidad.

### **C. Precio Sombra Bajo los Mecanismos de Asignación (Autónomo y No Autónomo).**

Como comenta la metodología, se calcula el precio sombra con la tasa de descuento propuesta por Correa (2008) del 8%, tanto para los mecanismos de asignación autónomo como no autónomo, de acuerdo a la ecuación [2].

**Cuadro 9. Precio Sombra por Mecanismos de Asignación (US\$/kTon).**

Año	Autónomo	No Autónomo
2004	8.243	289.411.730
2005	9.348	422.162.370
2006	6.608	306.390.252
2007	6.096	295.160.465
2008	11.089	823.720.290
2009	6.996	538.320.245
2010	7.008	541.797.480
2011	8.653	837.423.005

Fuente: elaboración propia.

### **D. Valor del Stock de Capital Carbón.**

A continuación se observa el cálculo del valor del capital carbón en Colombia y la tendencia entre el periodo de 2004 y 2011 para los mecanismos de asignación autónomos y no autónomos. El valor del capital carbón ha mostrado en promedio una tendencia lineal decreciente en el periodo de análisis (ver Gráfico 8). Esta tendencia refleja un proceso de pérdida de

valor del capital natural dado que los hallazgos son menores a las tasas de extracción de dicho recurso en el país.

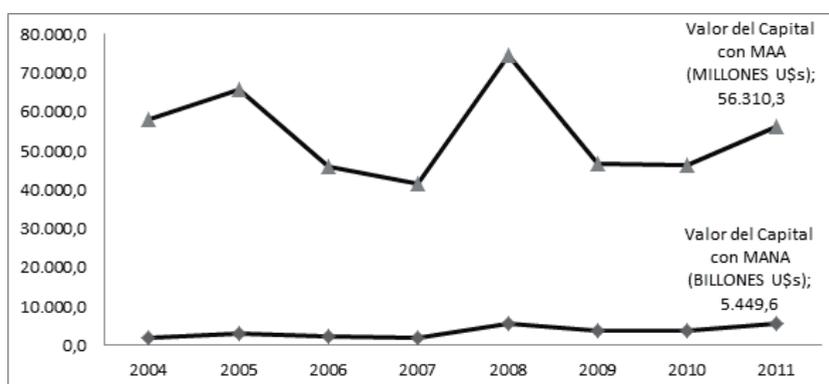
Estos resultados plantean una degradación en el valor existente del stock de capital carbón para las generaciones futuras. No obstante, como se evidencia en el Gráfico 8, para el año 2008 el valor del stock presenta un aumento considerable para ambos mecanismos de asignación, siendo más representativo en el MANA al superar en un 176% su valor del 2007 logrando alcanzar en el 2008 más de 5 mil billones de dólares, disminuyendo luego en un 35% para el periodo del 2009. Comparado a estos valores, el MAA en términos porcentuales y cuantía es de menor escala pero no deja de ser representativo ya que en 2008 aumenta el valor del stock en un 80% sobre su valor del 2007.

**Cuadro 10. Valor del Capital Carbón en Colombia por Mecanismos de Asignación (Millones Us\$/Kton).**

Año	Reservas Kton	Valor del Capital con MAA	Valor del Capital con MANA
2004	7.034.540	57.985,7	2.035.878.391
2005	7.021.970	65.641,4	2.964.411.497
2006	6.946.836	45.904,7	2.128.442.833
2007	6.815.466	41.547,1	2.011.656.113,8
2008	6.740.867	74.749,5	5.552.588.920,1
2009	6.667.702	46.647,2	3.589.358.974,2
2010	6.593.402	46.206,6	3.572.288.588
2011	6.507.602	56.310,3	5.449.615.622

Fuente: elaboración propia.

**Gráfico 8. Tendencia del Valor Del Capital Carbón en Colombia (Millones de Dólares).**



Fuente: elaboración propia.

El valor del capital natural aumenta entre 2007 y 2008 debido a la reinversión y aumento de la inversión extranjera directa (IED) en el año 2007 asociada al tendencial aumento en el precio del carbón, aumentando así de manera importante el excedente del productor. Sin embargo, como lo menciona la Superintendencia de Sociedades (2013), el sector carbón disminuye sus ingresos operacionales en el año 2009 por la caída del precio del carbón llegando casi al 50% junto a una disminución de 695 mil toneladas de producción de carbón.

### **E. Indicador de Sostenibilidad de la Extracción del Carbón.**

A continuación se muestra el resultado de la aplicación del modelo planteado y las variables halladas para determinar la sostenibilidad de la extracción del carbón para Colombia entre el periodo de análisis con una tasa de descuento del 8% y un valor de  $e^6$  del 0,9286% para calcular el indicador por el mecanismo de asignación no autónomo.

**Cuadro 11. Indicador de Sostenibilidad por Mecanismo de Asignación**

<b>Año</b>	<b>Indicador de Bienestar Intertemporal por MAA (Millones US\$)</b>	<b>Indicador de Bienestar Intertemporal por MANA (Billones US\$)</b>
2005	-702	14,0
2006	-868	-6,1
2007	-455	-21,9
2008	-811	-4,6
2009	-520	-12,3
2010	-601	-9,0
2011	-56315	-15,6

Fuente: elaboración propia.

El indicador de sostenibilidad de la extracción del recurso natural propuesto por Mäler (2001), dado por  $V_{t+1} - V_t > 0$ , muestra para el periodo entre 2005 y 2011 que la extracción del carbón en Colombia no es sostenible tanto para los mecanismos de asignación autónomos como los no autónomos. No obstante, como se mencionó antes, para el periodo de 2008 el valor del stock presenta un aumento considerable por ambos mecanismos de asignación reflejo de la combinación de dos factores primordiales: aumento en la confianza y beneficios de tributarios para la inversión, y la favorabilidad de la tendencia al alza del precio internacional del carbón. Pero esto no genera impacto en los indicadores de sostenibilidad, especialmente el MAA, pues estos están fundamentados en la variación de las reservas de carbón (ver ecuaciones [4] y [5]) y como se muestra en el Gráfico 8, el aumento de la extracción, sin registro de nuevos descubrimientos de reservas probadas, está evidenciando un decrecimiento en el stock del capital natural.

<sup>6</sup> Promedio de variación anual de los precios del mercado mundial. Su cálculo detallado se encuentra en (Salas, 2014).

Un caso interesante es el indicador de sostenibilidad MANA, pues además de relacionar el impacto de las reservas de carbón también relaciona el provocado por el cambio en el precio internacional, solo que en este caso el promedio de la variación anual de los precios del mercado mundial (0,86%) no permite que el efecto del precio internacional predomine sobre la variación del stock de capital natural. Pero si el promedio de la variación anual de los precios del mercado mundial fuese mayor o igual a 1,1%, el indicador de sostenibilidad bajo el MANA mostraría que el año 2009 fue sostenible (ver cuadro 12).

**Cuadro 12. Indicador de Bienestar Intertemporal por MANA (con  $e = 1,09\%$ )**

Año	Indicador de Bienestar Intertemporal por MANA (Billones Us\$)
2005	18,5
2006	0,6
2007	-17,1
2008	-0,1
2009	0,3
2010	-0,9
2011	-7,5

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados también indican que el sector carbonífero no ha estado en la senda óptima de extracción del mineral, causa de una subutilización del recurso por la limitación de producción de carbón debida a la baja del precio internacional pero fundamentalmente la falta de infraestructura para poder garantizar la capacidad financiera para acumular y mantener los inventarios que debe formar el país cuando las condiciones del mercado lo requieren (FEDESARROLLO, 2014). Lo cual puede ser consecuencia de un proceso no eficiente de reinversión de los aportes obligatorios del sector carbón (regalías) y la ausencia de nuevos descubrimientos de carbón en el periodo de análisis. Esto es inquietante para una economía donde la extracción de sus recursos naturales representa una parte importante de su PIB ya que no hay garantía de que la extracción del recurso mineral traiga consigo un desarrollo sostenible en el corto, mediano o largo plazo de seguir con las características evidenciadas de explotación del mineral.

En un sentido más amplio, este riesgo también podría asociarse a un problema en el crecimiento de la economía bajo la llamada maldición de los recursos naturales. Al respecto, el premio nobel de economía Joseph Stiglitz en el Séptimo Foro Urbano Mundial celebrado el mes de abril del 2014 en la ciudad de Medellín, recomendó al presidente de Colombia estar consciente de dicha maldición porque "Colombia ha estado creciendo bien, pero parte de esto es por el beneficio de estos altos precios en los recursos, pero esto ha llevado a la apreciación de la moneda y esto es lo que genera el problema de la desindustrialización" (Portafolio.co, 2014).

Bajo este contexto, se considera necesario diversificar las inversiones de las rentas provenientes de este recurso de una forma más óptima al disponer de propuestas para las zonas

donde se realiza la extracción del mineral como por ejemplo invertir en la generación de nuevas fuentes de energía, actividades que generen un valor agregado y capital humano, a fin de reducir la dependencia de los nuevos hallazgos para generar riqueza (Orihuela, 2008).

## V. Conclusión y recomendaciones.

- En el caso analizado sobre el periodo 2008 muestra como los efectos relativos a la inversión extranjera y la fortuna de las alzas del precio internacional de carbón pueden repercutir en aumentos considerables de los ingresos del productor y el valor del capital natural pero no necesariamente en la sostenibilidad de la extracción del recurso para el país.
- A pesar de que el presente trabajo se diferencia de los trabajos de Aniyar (2003) y Vergara (2005) en relación al tipo de capital natural (carbón y no petróleo), los métodos de cálculo del excedente del productor (los costos fueron estimados con relación a los costos de operación y producción del sector real de las empresas relacionadas a la producción de carbón), y la tasa de descuento ambiental utilizada para obtener el indicador de sostenibilidad de la extracción del capital natural, el resultado de la extracción del recurso natural es la insostenibilidad para cada uno de los mecanismos de asignación.
- Al aplicarse este modelo se encontraron limitaciones que bien caben mencionar y podrían incluirse en estudios posteriores para mejoramiento del modelo. Estas limitaciones se centran en lo que se denominan externalidades tanto positivas como negativas. Dentro del análisis económico de recursos naturales no renovables se contempla el análisis de las externalidades que produce la extracción y uso de estos recursos (Hanley, Shogren, & White, 2007). El incorporar estas externalidades llevaría una inversión de tiempo, rigurosidad matemática y estudio de impactos en el bienestar social y ambiental para los cuales se necesitarían incluir más de una variable que puedan evidenciar efectos en el bienestar social. Esto manifiesta una invitación para futuros trabajos que puedan incluir externalidades positivas tales como el manejo de las regalías, impuestos y el empleo, los cuales pueden incentivar el bienestar en todo el país de hacerse una adecuada gestión de los recursos. De igual forma podrían incluirse externalidades negativas procedentes de la explotación de este recurso como la contaminación o efectos económicos como la inflación en los municipios donde se realiza la extracción, los cuales hasta ahora no se han tenido en cuenta.

## Referencias bibliográficas

- Andrews, R. (2014, 29 de octubre). *Oil and coal: Trends in global energy substitution* [Web log post]. Recuperado de <http://euanmearns.com/oil-and-coal-trends-in-global-energy-substitution>

- Aniyar, S. (2003). *Estimating the value of oil capital in a small open economy: The Venezuela's example*. Beijer International Institute of Ecological Economics, Discussion Paper Series No. 159.
- Arias, F. (2006). *Desarrollo sostenible y sus indicadores*. Cali (Colombia): CIDSE, Centro de Investigaciones y Documentación Socioeconómica, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad del Valle, Cali.
- Azqueta, D. (2002). *Introducción a la economía ambiental*. Madrid: McGraw Hill.
- Carvajal, F. (1996). *Corrección de la contabilidad nacional por efectos ambientales, según la metodología de Salah El Serafy*. Quito: FLACSO.
- CEPAL. (2001). *Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas*. Santiago de Chile: CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).
- CEPAL. (2005). *Cuentas ambientales: conceptos, metodologías y avances en los países de América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).
- Correa, F. (2008). Tasa de descuento ambiental Gamma: una aplicación para Colombia. *Lecturas de Economía* 69 (julio-diciembre), 141-162.
- Dasgupta, P. & Mäler, K.-G. (2001a). *Wealth as a criterion for sustainable development*. Beijer International Institute of Ecological Economics, Discussion Paper Series No. 139.
- Dasgupta, P. & Mäler, K.-G. (2001b). *Intertemporal welfare economics in imperfect economics*. Beijer International Institute of Ecological Economics, Discussion Paper Series No. 140.
- Dasgupta, P. & Mäler, K.-G. (2000). Net national product, wealth and social well-being. *Environment and Development Economics*, 5(1), 69-93.
- Falconí, F. (2002). *Economía y desarrollo sostenible*. Quito: FLACSO.
- FAO. (1995). *Bosques, árboles y comunidades rurales - Fase II*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FEDESARROLLO. (2014). *Definición y análisis de alternativas para desarrollar un plan de choque en el sector productor de carbón al interior del país*. Bogotá.
- Field, B. C. (2001). *Natural resource economics: An Introduction*. McGraw-Hill.
- Franco, G. (2004). *Tendencias del carbón como recurso energético en Colombia y en el mundo: Aproximación*. Manuscrito, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.
- Hanley, N., Shogren, J., & White, B. (2007). *Environmental economics: In theory and practice*. Palgrave Macmillan.
- La Republica. (2012, 26 de Abril). Cambios en mercado del carbón no frenan exportaciones. Recuperado de [http://www.larepublica.co/minas-y-negocio/cambios-en-mercado-del-carbono-no-frenan-exportaciones\\_8648](http://www.larepublica.co/minas-y-negocio/cambios-en-mercado-del-carbono-no-frenan-exportaciones_8648).

- Mäler, K.-G. (2001). *Wealth an well-being in a model with discrete time*. Intertemporal Welfare Economics in Imperfect Economics. Beijer International Institute of Ecological Economics, Discussion Paper Series No. 146.
- ONU. (1987). *Report of the world commission on environment and development: Our common future*. Naciones Unidas.
- Orihuela, C. (2008). *Sostenibilidad e ingreso del sector hidrocarburos peruano*. Lima, Peru: CIES (Consortio de Investigacion Económica y Social).
- Portafolio. (2014, 8 de Abril). Los consejos de Stiglitz a Juan Manuel Santos. Recuperado de <http://www.portafolio.co/economia/nobel-economia-stiglitz-aconseja-al-presidente-santos>
- Rodríguez, R. (2002). *Economía y Recursos Naturales: una visión ambiental de Cuba*. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Salas, L. (2014). *El valor del capital natural: Un indicador en la sostenibilidad de la extracción del carbón colombiano (2004-2011)*. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Colombia.
- Superintendencia de Sociedades. (2013). *Desempeño del sector de minería e hidrocarburos 2008 – 2012*. Bogotá.
- UICN/PNUMA/WWF. (1991). *Cuidar la Tierra. Estrategia para el futuro de la vida*. Gland, Suiza.
- UPME. (2006). *Mercado Nacional e Internacional del Carbon Colombiano*. Unidad de Planeación Minero-Energética, Ministerio de Minas y Energía, Colombia.
- UPME. (2014, 3 de mayo). *Histórico de Producción de Carbón Anual*. Sistema de Información Minero Colombiano, Unidad de Planeación Minero-Energética. Recuperado de [http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta\\_Series.aspx?idModulo=4&tipoSerie=121&grupo=368&FechaInicial=01/01/1940&FechaFinal=30/09/2012](http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta_Series.aspx?idModulo=4&tipoSerie=121&grupo=368&FechaInicial=01/01/1940&FechaFinal=30/09/2012)
- UPME. (s.f.). *Panorama Sector Carbonífero*. Unidad de Planeación Minero-Energética. Recuperado de [http://www.upme.gov.co/guia\\_ambiental/carbon/panorama/contenid/panorama.htm#1](http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/panorama/contenid/panorama.htm#1).
- Vergara, C. (2005). *Sostenibilidad De La Extracción De Petróleo En Colombia, Un Análisis Basado En El Enfoque Del Valor Del Capital Natural (1998-2003)*. Tesis de maestría. Universidad de Concepcion, Chile.
- Vergara, c. a., & Salgado, H. (2009). Valor del Capital Natural y Sostenibilidad del Petróleo en Colombia. *Ensayos de Economía*, 169-198.
- Vilorio, J. (1998). *La economía del carbón en el caribe colombiano*. Cartagena de Indias: Banco de la República, Colombia.
- WEC. (2013). *World Energy Resources*. World Energy Council.

