

**Metodología para una Valoración Económica
de los Recursos Minerales de Colombia**

Giovanni Franco Sepúlveda

I.M.M.



Facultad de Ciencias Humanas y Económicas

Escuela de Economía

Universidad Nacional de Colombia

Sede Medellín

2005

**Metodología para una Valoración Económica
de los Recursos Minerales de Colombia**

Giovanni Franco Sepúlveda

I.M.M.

Trabajo de tesis de Magíster presentado como requisito parcial
para optar al título de Magíster en Ciencias Económicas
Línea de investigación en Economía de los Recursos Energéticos y Naturales

Director: **Antonio Romero Hernández**

I.M.M. Ph. D.



Facultad de Ciencias Humanas y Económicas

Escuela de Economía

Universidad Nacional de Colombia

Sede Medellín

2005

A mi esposa Eliana María

Son pocas las palabras que puedo escribir para darte las gracias por todo el amor, apoyo y comprensión recibidos durante la realización de mis estudios de maestría.

Con todo el corazón...muchísimas gracias.

Guayacán Amarillo

Todos los hombres tenemos sueños.

*El mío es por ejemplo,
Un guayacán amarillo,
La luna llena con todo su resplandor,
Y la mujer azul
Con sus millones de poros siendo míos.*

*Jardín algún día de tantos,
Me ofreció:
El guayacán amarillo y la luna llena.
Únicamente, faltabas vos
Mujer azul.*

*Seguiré aquí sentado esperando,
A que la vida me regale
Tan solo esas tres cosas
Y por fin morir tranquilamente.*

Giovanni Franco Sepúlveda

Agradecimientos

A *Antonio Romero Hernández* profesor de la Universidad Nacional de Colombia y director de este trabajo de tesis, por sus oportunas y acertadas indicaciones.

A *Elkin Vargas Pimiento* profesor de la Universidad Nacional de Colombia, exdirector y evaluador de este trabajo de tesis por las ideas iniciales y las observaciones finales.

A *Mauricio Alviar* profesor y decano de Economía de la Universidad de Antioquia, evaluador de este trabajo de tesis por las ideas y observaciones al final de este trabajo.

A *Álvaro Ponce Muriel* geólogo y asesor de la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME – por sus valiosos comentarios en el desarrollo de este trabajo de tesis.

Tabla de contenido

| | |
|--|-------------|
| LISTA DE FIGURAS Y TABLAS..... | VII |
| RESUMEN..... | VIII |
| ABSTRACT | IX |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1. CONSIDERACIONES SOBRE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS DE LA TEORÍA ECONÓMICA DEL VALOR Y DEL PRECIO EN LOS RECURSOS MINERALES | 4 |
| INTRODUCCIÓN | 4 |
| 1.1. LA ECONOMÍA CLÁSICA Y EL CONSUMO DE RECURSOS NATURALES..... | 4 |
| 1.2. ELEMENTOS DE LA TEORÍA ECONÓMICA DEL VALOR Y DEL PRECIO EN LOS RECURSOS MINERALES: APROXIMACIÓN Y CRÍTICA | 10 |
| <i>Relatoría 1. Investigación sobre la naturaleza de las leyes de granos con una opinión sobre la nueva ley de trigos propuesta para Escocia (Anderson, 1777).</i> | 11 |
| <i>Relatoría 2. La culminación de la renta: Ricardo (Álvarez, 1986)</i> | 12 |
| <i>Relatoría 3. Distribución de la renta: Teoría de la producción y de la productividad marginal (Samuelson, 1968)</i> | 13 |
| <i>Relatoría 4. La renta petrolera (Álvarez, 2000)</i> | 14 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 16 |
| 2. ELEMENTOS DE LA VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS RECURSOS NATURALES | 18 |
| INTRODUCCIÓN | 18 |
| 2.1. ¿QUÉ DA VALOR A LOS RECURSOS NATURALES? | 19 |
| 2.2. ¿QUIÉN EXPRESA ESTOS VALORES? | 20 |
| 2.3. ¿CÓMO SE EXPRESAN ESTOS VALORES?..... | 21 |
| 2.3.1. <i>Vía preferencias individuales</i> | 21 |
| 2.3.2. <i>Vía preferencias colectivas</i> | 22 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 25 |
| 3. METODOLOGÍA PARA UNA VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS RECURSOS MINERALES EN COLOMBIA | 27 |
| INTRODUCCIÓN | 27 |
| 3.1. LA VALORACIÓN Y LOS RECURSOS MINERALES | 28 |
| 3.2. MÉTODOS TRADICIONALES DE VALORACIÓN DE RECURSOS MINERALES..... | 32 |
| 3.2.1. <i>Valor presente neto</i> | 32 |
| 3.2.2. <i>Modelo de Hoskold (ITGE, 1991)</i> | 33 |
| 3.2.3. <i>Modelo de Morkill (ITGE, 1991)</i> | 34 |
| 3.2.4. <i>Modelo de flujo de caja descontado (Vargas, 2001)</i> | 35 |
| 3.3. METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES | 37 |
| 3.4. <i>Definición de variables</i> | 41 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 46 |
| 4. CASO DE ESTUDIO. APLICACIÓN EN YACIMIENTOS DE CARBÓN Y | 48 |

| | |
|--|-----------|
| DEPÓSITOS DE CALIZAS | 48 |
| 4.2. RESERVAS Y EXTRACCIÓN | 49 |
| 4.2.1. CARBÓN | 49 |
| 4.2.2. CALIZAS | 50 |
| 4.3. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS YACIMIENTOS | 52 |
| 4.3.1. YACIMIENTOS DE CARBÓN | 53 |
| 4.3.2. DEPÓSITOS DE CALIZAS | 56 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 61 |
| CONCLUSIONES | 63 |
| BIBLIOGRAFÍA | 65 |

Lista de Figuras y Tablas

| | |
|---|----|
| TABLA 1. VALORES Y RELACIONES PARAMÉTRICAS PARA TRES TIPOS DE YACIMIENTOS. | 43 |
| TABLA 2. VALOR DEL YACIMIENTO EXPRESADO EN TÉRMINOS DE LA INVERSIÓN (I) Y LOS INGRESOS ANUALES (E)..... | 44 |
| TABLA 3. RESERVAS MEDIDAS E INDICADAS DE CARBÓN POR ZONAS Y POR TIPO DE CARBÓN, 2000 | 50 |
| TABLA 4. RESERVAS MEDIDAS DE CALIZA POR ZONAS GEOGRÁFICAS PARA COLOMBIA, 1996 | 51 |
| TABLA 5. VALORES Y RELACIONES PARAMÉTRICAS PARA YACIMIENTOS DE CARBÓN..... | 53 |
| TABLA 6. VALORES Y PROYECCIONES DE LOS YACIMIENTOS CARBONÍFEROS EN COLOMBIA PARA EL PERIODO 2000 - 2010 | 54 |
| TABLA 7. VALORES Y RELACIONES PARAMÉTRICAS PARA DEPÓSITOS DE CALIZAS..... | 56 |
| TABLA 8. VALORES Y PROYECCIONES DE LOS DEPÓSITOS DE CALIZAS EN COLOMBIA PARA EL PERIODO 2000 - 2010 | 58 |
| FIGURA 1. LA SOLUCIÓN DE HOTELLING | 7 |
| FIGURA 2: VALORES DE VY PARA DEPÓSITOS DE CARBÓN EN LOS ESCENARIOS SIMULADOS | 56 |
| FIGURA 3: VALORES DE VY PARA DEPÓSITOS DE CALIZAS EN LOS ESCENARIOS SIMULADOS..... | 60 |

Resumen

A partir de la interpretación y análisis de las relaciones que se presentan entre la economía y los recursos naturales, se realiza una descripción de los principales elementos de la teoría económica del valor y del precio en los recursos minerales, con base en postulados de la economía clásica y en algunos de los fundamentos de la teoría económica del valor y del precio en los recursos minerales.

La presentación de los principios de la valoración económica de los recursos naturales busca responder a los interrogantes tales como: ¿Qué da valor a los recursos naturales?; ¿Quién expresa estos valores?; ¿Cómo se expresan estos valores?, teniendo presente si los mecanismos para responder los anteriores interrogantes se llevan a cabo vía preferencias individuales o vía preferencias colectivas.

Se propone una metodología para una valoración económica de los recursos minerales en Colombia, procurando tener como marco teórico los métodos tradicionales de valoración de recursos minerales tales como el de valor presente neto; el modelo de Hoskold; el modelo de Morkill y el modelo de flujo de caja descontado.

Se llevó a cabo el estudio de caso en los yacimientos de carbón y de calizas colombianos analizados en forma agregada, aunque una de las grandes dificultades para desarrollar o realizar propuestas metodológicas de estas características para el sector minero colombiano, es la falta de información sistemática que pueda servir como base para consolidar trabajos futuros de investigación en beneficio sectorial.

Palabras clave: *Carbón, Calizas, Colombia, Economía, Minería y Valoración.*

Abstract

Starting from the interpretation and analysis of the relationships that are presented between the economy and the natural resources, it is carried out a description of the main elements of the economic theory of the value and of the price in the mineral resources, with base in postulates of the classic economy and in some of the foundations of the economic theory of the value and of the price in the mineral resources.

The presentation of the principles of the economic valuation of the resources natural search to respond to the such questions as: What value does it give to the natural resources?; Who does express these values?; How are these values expressed?, having present if the mechanisms to respond the previous queries are carried out via individual preferences or via collective preferences.

It intends a methodology for an economic valuation of the mineral resources in Colombia, trying to have like theoretical mark the traditional methods of valuation of such mineral resources as that of net present value; the pattern of Hoskold; the pattern of Morkill and the pattern of discounted box flow.

It was carried out the case study in the locations of coal and of Colombian limestones analyzed in added form, although one of the big difficulties to develop or to carry out proposed methodology of these characteristics for the colombian mining sector, is the lack of systematic information that can serve like base to consolidate future works of investigation in sectorial benefit.

Key Words: Coal, Limestone, Colombia, Economy, Mining and Valuation.

Introducción

El tópico principal del presente trabajo de investigación se centra en la gestión de los recursos minerales, ya que constitucionalmente el Estado colombiano es propietario del Subsuelo y de los Recursos Naturales no Renovables (Constitución Política Nacional, 1991), y es él por medio de sus entidades adscritas o vinculadas el encargado de la adecuada planificación, regulación y control de estos recursos. No obstante, se carece de una metodología que permita determinar el valor de los recursos no renovables y resulta difícil realizar una adecuada planeación, regulación y control sino se conoce aproximadamente su valor. De ahí que es importante definir una metodología para acometer la valoración sistemática de los recursos minerales en Colombia - por ejemplo, de los recursos energéticos, dada su importancia estratégica dentro del contexto tanto nacional como internacional –.

La Constitución de la República de Colombia de 1991, definió inicialmente tres artículos relacionados con los recursos del subsuelo. El primero, es el Artículo 8, "*es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación*". El segundo, es el Artículo 80, "*el Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución*". Por último, el Artículo 332, "*el Estado es propietario del subsuelo y de los recursos naturales no renovables, sin perjuicio de los derechos adquiridos y perfeccionados con arreglo a las leyes preexistentes*" (Constitución Política Nacional, 1991). La discusión sobre la propiedad de los recursos del subsuelo en Colombia, es una discusión que apenas comienza a ser debatida en algunos espacios académicos (Lopera, 1999) y que deberá ser tomada en cuenta en todas las esferas políticas y de toma de decisiones de la Nación y el Estado colombiano, dada la importancia estratégica de estos recursos en el contexto nacional e internacional.

Se requiere definir una metodología para la valoración económica de sus recursos minerales como una herramienta de gestión - planeación, regulación y control - de los recursos naturales no renovables, que en el largo plazo pueda ser aplicada con el fin insertar estos recursos en los procesos de cuentas nacionales. Se perciben ciertas lagunas metodológicas y de información en algunas de las entidades encargadas de realizar estas funciones constitucionales, generando como consecuencia que la

información sobre los recursos minerales - y en general los recursos naturales - no se encuentre disponible en sistemas coherentemente relacionados, es difícil por no decir que imposible, que esta información pueda ser tenida en cuenta como un elemento básico sobre la toma de decisiones relacionada con los recursos minerales de Colombia.

En este trabajo de investigación se presentan fundamentalmente dos aportes significativos. Un aporte desde lo teórico, conceptual y metodológico y un aporte práctico y técnico. Se pueden describir los siguientes aportes:

Para la economía colombiana y su política económica, el desarrollo de la investigación ayudará, a una mejor comprensión de la dotación de los recursos naturales del país, especialmente de la dotación mineral; también, a una determinación más apropiada de los precios de venta al sector privado de las propiedades mineras del Estado, del nivel de impuestos y de otras participaciones económicas; al igual que de las regalías que debe percibir el Estado por la explotación de los minerales. Aportará igualmente al desarrollo de un posterior sistema de cuentas para establecer el patrimonio natural de la Nación.

Para la economía del sector minero, contará con una herramienta para la adecuada gestión y planificación de los recursos minerales del país; además, esta herramienta ayudará a fijar las condiciones de contratación con los inversionistas y particulares que los exploten. Además, servirá de base para la inclusión de los recursos minerales en las cuentas nacionales.

En el posgrado, se fortalecerá el trabajo de investigación en la economía de recursos energéticos y naturales, identificando líneas y tópicos de investigación en el transcurso de este trabajo.

Para la línea de profundización en recursos energéticos y naturales, se afianzará el trabajo académico y de investigación, especialmente en la valoración de recursos naturales, incluyendo los recursos minerales.

En la primera parte de este trabajo se describen algunas consideraciones sobre las principales elementos de la teoría económica del valor y del precio en los recursos minerales, explicando las relaciones de la economía clásica y el consumo de recursos naturales, así como una aproximación y crítica a los elementos de la teoría económica del valor y del precio en los recursos minerales.

En la segunda parte, se realiza una descripción de los elementos de la valoración económica de los recursos naturales intentando responder las cuestiones: ¿Qué da valor a los recursos naturales?, ¿Quién expresa estos valores? y ¿Cómo se expresan estos valores?

En el capítulo tres, se define la metodología para una valoración económica de los recursos minerales en Colombia y se explican las relaciones entre la valoración y los recursos minerales. Además, se describen algunos modelos de valoración de recursos minerales como el de Valor Presente Neto, el Modelo de Hoskold, el Modelo de Morkill y el Modelo de Flujo de Caja Descontado. Se realiza por último la explicación y la definición de variables de la metodología de valoración de yacimientos minerales.

En el capítulo cuarto, se lleva a cabo una simulación por medio del estudio de un caso, la aplicación de la metodología propuesta en este trabajo para la valoración de recursos minerales en Colombia, en yacimientos de carón y calizas.

Finalmente, se describen algunas conclusiones fruto de este trabajo de tesis y se plantean algunos interrogantes que pueden ser tendidos en cuenta en futuros trabajos de investigación en el área de economía de los recursos energéticos y naturales.

1. Consideraciones sobre los principales elementos de la teoría económica del valor y del precio en los recursos minerales

Introducción

En este capítulo se hace una revisión al desarrollo en las relaciones que se han presentado entre la economía y los recursos naturales, acerca de las consideraciones sobre los principales elementos de la teoría económica del valor y del precio en los recursos minerales. Se pretende plantear el marco teórico de éste trabajo y las propuestas que en él se formulan como un aporte a la valoración de una parte del capital natural – en nuestro caso, el capital mineral – de Colombia.

1.1. La economía clásica y el consumo de recursos naturales

A mediados del siglo XVIII nació en Francia la escuela económica de los fisiócratas, la cual tenía como primer principio que los recursos naturales, y en particular la agricultura y la tierra, eran la fuente del bienestar material. Son conocidos generalmente como la primera escuela científica organizada de economía: Además, como la primera escuela económica que se ocupó del análisis de los recursos naturales y sostenían que el proceso económico podía ser entendido basándose en un factor muy simple, la productividad de la agricultura.

Los fisiócratas argumentaban que el proceso económico estaba sujeto a ciertas leyes que eran independientes del deseo humano, estas leyes, denominadas leyes naturales, determinaban importantes parámetros como la lluvia y la fertilidad del suelo. La influencia de ésta escuela fisiócrata comenzó a declinar rápidamente después de 1760 y para algunos de los economistas actuales representan solamente una curiosidad histórica.

De manera similar, los límites ambientales al crecimiento económico fueron considerados por Malthus y Ricardo en el siglo XIX, indicaban que eran la oferta de tierras de buena calidad y el rendimiento

decreciente de la producción agrícola los factores últimos que imponían dichos límites. Para Malthus, la cantidad fija de tierra disponible implicaba que, a medida que fuera creciendo la población, los rendimientos decrecientes reducirían la oferta alimenticia per cápita, con lo que los niveles de vida se verían forzados al nivel de subsistencia y la población dejaría de crecer, al mismo tiempo consideraba a los recursos no renovables como un límite físico absoluto a corto, mediano y largo plazo (Pearce y Turner, 1995). Este es el mismo enfoque utilizado en “Los Límites del Crecimiento” (Meadows et al, 1972), un informe al Club de Roma en el cual se hicieron predicciones sobre el posible colapso ambiental y económico del planeta con base en cálculos de índices estadísticos de existencias y consumo de recursos.

Algo semejante ocurre, en un modelo más complejo desarrollado por Ricardo, en el largo plazo, el crecimiento económico también desaparece como consecuencia a la escasez de los recursos naturales. Los rendimientos decrecientes no están centrados en la escasez absoluta, sino en que la tierra disponible varía de calidad y la sociedad se ve en última instancia forzada a utilizar tierras cada vez menos productivas. Las previsiones sobre suficiencia de recursos son más optimistas, sus supuestos de partida son que los recursos no son homogéneos y que las cantidades de recursos explotables se verán ampliadas por medio de un mayor esfuerzo y un rápido avance tecnológico.

Además, el modelo de Ricardo sobre las pautas del uso de los recursos es similar al pensamiento de algunas ciencias sobre el uso de los recursos minerales. Normalmente los recursos de mejor calidad son los primeros en utilizarse y esto se demuestra con el caso del cobre, el cual su ley mina (concentración mínima para ser explotado económicamente) a principios de siglo anterior era entre el 4 y 5 %, y actualmente se explotan minas cuya concentración apenas llega al 0.5 %. A manera de ejemplo: En 1978, las diez minas de cobre más grandes del mundo podían procesar un total de 2.1 millones de toneladas. Tan solo una mina (Chuquicamata, Chile) podía procesar más de 300.000 Ton / año. Para el año 2000, en las diez minas más grandes se estimó un procesamiento de 4.9 millones de toneladas, ocho de estas minas, tienen o poseen una capacidad anual de procesamiento que excede las 300.000 Ton / año (Franco y Molina, 2001).

Por otro lado, posterior a Malthus y Ricardo, en 1920, Pigou en su publicación “La Economía del Bienestar”, puntualizó formalmente como los costos y los beneficios que no están incluidos en los costos del mercado afectan a la manera en que la gente se relaciona con su ambiente, y dio paso a lo que hoy se conoce como la economía ambiental, considerada como la extensión de la economía tradicional a un nuevo campo de análisis (Aguilera y Alcántara, 1994). Numerosos economistas siguen

la lógica de Pigou y afirman que la biodiversidad no está adecuadamente protegida porque su valor no está incluido en las señales de mercado que guían las decisiones de productores y consumidores, y consecuencia el funcionamiento global del sistema económico.

En ésta misma dirección se encuentra a Coase, el cual plantea que si bien los mercados puede que no aseguren “la cantidad óptima de una externalidad”, pueden ser conducidos en esa dirección y de manera muy sutil sin la necesidad de una actividad reguladora completa, por medio de sistemas impositivos o a través del establecimiento de limitaciones cuantitativas (Pearce y Turner, 1995). Como es bien conocido, la valoración económica de la externalidad ambiental sigue siendo un problema de actualidad.

Otro de los problemas al que se ha enfrentado la teoría económica tradicional es la asignación intergeneracional de recursos no renovables. En este campo se ha definido la “tasa óptima de agotamiento del recurso” según la cual, el recurso debería agotarse de tal forma que la tasa de crecimiento del precio sea igual a la tasa de descuento. La ecuación fundamental que relaciona esta tasa óptima de agotamiento del recurso se conoce como la regla de Hotelling, y es expresada de la siguiente forma:

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

La ecuación anterior indica que el precio (P) de un recurso en un periodo (t) es igual al precio en un periodo inicial (P_0) con una tasa de interés s , en el caso ideal de una extracción sin costos. El propietario del recurso debería ser indiferente entre una unidad del recurso a precio P_0 ahora y a la misma unidad a precio P dentro de t años. Gráficamente dicha regla se puede representar como se observa en la figura 1.

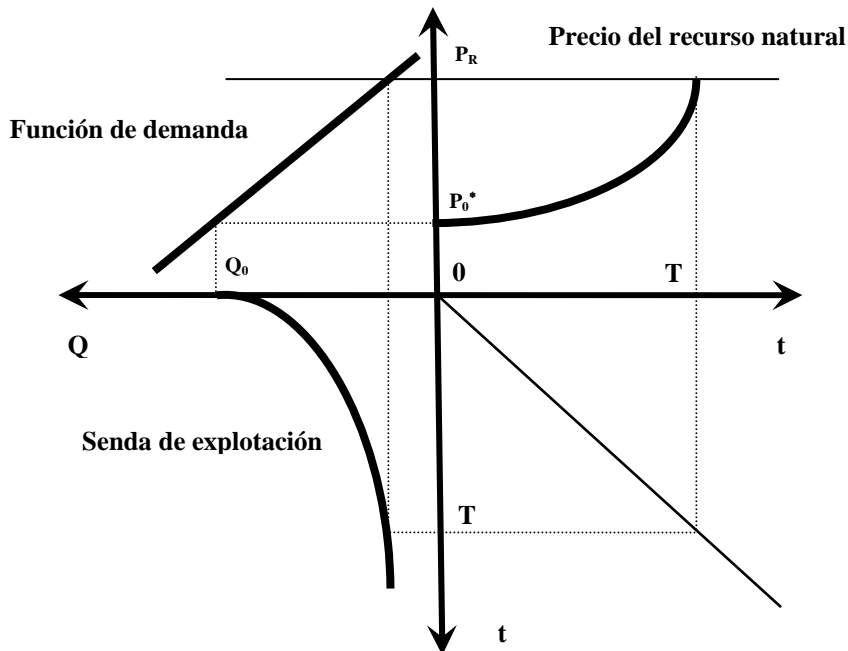


Figura 1. La solución de Hotelling (Fuente: Martínez Alier y Roca Jusmet, 2003)

Teniendo en cuenta la figura anterior, el cuadrante superior derecho muestra la trayectoria de precio del recurso a lo largo del tiempo, de la misma forma que la senda óptima de extinción que tiene lugar en T . El cuadrante superior izquierdo muestra la demanda de recurso representada por una curva de demanda convencional pero mostrada de forma inversa, cuanto mayor sea el precio del recurso menor será la cantidad demandada. El cuadrante inferior derecho permite transferir - mediante una bisectriz de 45° - la medida del tiempo en la parte inferior del eje vertical al eje horizontal a la derecha. El cuadrante inferior izquierdo muestra la relación entre la cantidad demandada, el tiempo y la cantidad extraída acumulada. El área bajo la curva en éste cuadrante muestra la extracción acumulada del recurso agotable.

Para llevar a cabo la aplicación real de la regla de Hotelling se requiere el conocimiento de la tasa de interés y de los precios futuros, la pregunta sobre cuál es la tasa óptima de descuento futuro que debe adoptarse no tiene respuesta en la teoría económica, ya que es equivalente a preguntarse acerca del peso relativo que algunos agentes económicos (los que no han nacido, las generaciones futuras) deben dar a las demandas de otros agentes, todo ello en contra del principio microeconómico de racionalidad,

en la que todos los agentes están capacitados y autorizados para acudir al mercado con sus preferencias y sus dotaciones iniciales de bienes (Romero, 1997).

Es importante señalar que Robert M. Solow, parte de Hotelling para plantear su artículo “La Economía de los Recursos o los Recursos de la Economía”, e interpreta la regla de manera muy clara, cualquiera que se sea la secuencia, el precio del mercado y el ritmo de extracción se conectan por la curva de demanda del recurso natural, de modo que en última instancia cuando aumenta el precio del mercado el ritmo de extracción corriente debe bajar a lo largo de la curva de demanda. Tarde o temprano el precio del mercado llegará a un nivel tan alto que elimine la demanda por completo, en ese momento la extracción bajará a cero. Si los flujos y los depósitos se han coordinado muy bien, mediante las operaciones de mercado de futuros, o de una junta de planeación, la última tonelada extraída será también la última tonelada que exista en el suelo. El recurso se agotará en el instante en que su precio lo elimine del mercado (Solow, 1974). Vale la pena destacar en este punto que Solow no tuvo en cuenta variables tan importantes como la sustitución y la tasa de uso del recurso mineral.

Solow hace un análisis del suministro de un mismo mineral a partir de dos fuentes diferentes y explica la manera en que se agotará la primera fuente y el momento en que la segunda fuente podrá ser explotada de manera rentable. Posteriormente discute sobre las tasas de interés del mercado y las tasas sociales de preferencia en el tiempo (asignación intergeneracional de los recursos agotables) y concluye que: “el futuro puede ser demasiado importante para dejarlo al capricho de las expectativas erradas y los altibajos de la ética protestante”, adicionalmente incluye en su análisis los factores de mejoramiento tecnológico y sustituibilidad de recursos naturales por otros factores para afirmar que “en principio no habrá problema, el mundo puede seguir adelante sin recursos naturales de modo que su agotamiento es sólo un acontecimiento, no una catástrofe”. Y agrega, “el agotamiento de un depósito dado de recursos naturales puede ser superado en cualquier medida si la disponibilidad inicial de capital es suficientemente grande” (Berrío, 1997).

Por consiguiente, hay que resaltar que para explotar los recursos minerales como lo hace la economía actualmente, se requiere encontrarlos en condiciones de concentración muy superiores a los que están en la corteza terrestre, un yacimiento o un depósito mineral es una circunstancia excepcional en la naturaleza, la ubicación geográfica y el desarrollo tecnológico actual tiene limitaciones físicas relacionadas con los requerimientos energéticos para explotar los recursos. Los costos físicos reales de extracción y procesamiento (beneficio) de los minerales son muy altos, y no está explícito si el tener más capital económico o capital manufacturado incrementa las posibilidades de explotar recursos con

leyes muy inferiores a las que se hace hoy en día. Sin embargo, algunos autores sostienen que pese a las limitaciones el mundo jamás vivirá una crisis por recursos minerales, teniendo en cuenta las infinitas cantidades de recursos minerales presentes en los océanos. Nicolás Georgescu-Roegen, propone una tasa de descuento futura igual a cero para asignar equitativamente los recursos agotables a lo largo del tiempo, abandonando el principio de maximizar la utilidad, y en su lugar apoyarse en el razonable principio de evitar las incomodidades futuras (Martínez, 1998). Adicionalmente, Georgescu-Roegen hace una fuerte crítica a los planteamientos de Solow al afirmar: “...uno debe tener un punto de vista muy erróneo del proceso económico en su conjunto como para no ver que hay factores materiales diferentes a los recursos naturales, seguir sosteniendo que “*el mundo puede en efecto pasárselo sin recursos naturales*”, es ignorar la diferencia entre el mundo real y el jardín del edén” (Berrío, 1997).

Algo semejante ocurre con Solow y Stiglitz (Daly, 1997), quienes proponen una nueva versión de la función de producción en la cual los recursos aparecen junto con el trabajo y el capital todo multiplicado en una función Cobb Douglas, de la forma:

$$Q = K^{\alpha_1} R^{\alpha_2} L^{\alpha_3} \quad (2)$$

Donde

Q = Producción total

K = Stock de capital manufacturado (fabricado)

R = Flujo de recursos naturales no renovables que intervienen en la producción.

L = Suministro de la fuerza de trabajo y

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ = Parámetros, con $\alpha_i > 1$ y $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$

De ésta función se puede concluir que, con una fuerza de trabajo constante, L_0 , se podría obtener cualquier Q_0 si el flujo de recursos naturales satisface la condición:

$$R^{\alpha_2} = \frac{Q_0}{K^{\alpha_1} L^{\alpha_3}} \quad (3)$$

La ecuación (3) demuestra que R puede ser tan pequeño como se desee, dado que K es suficientemente grande. Por lo tanto, se puede obtener un producto anual constante indefinido, incluso a partir de unas reservas muy pequeñas de recursos.

Algunos modelos admiten además, la existencia del cambio técnico que normalmente, se expresa como:

$$Q = e^{pt} K^{\alpha_1} R^{\alpha_2} L^{\alpha_3} \quad (3.1)$$

Donde p expresa la tasa de cambio técnico. De la ecuación 3.1, se puede decir que un valor positivo de p indica que los mismos inputs permiten llevar a cabo una producción exponencial creciente.

Además, Daly, plantea una crítica a ésta función que conecta R con K y L expresando: “una consecuencia inmediata es que los productos marginales físicos de K y L tendrían que ser cero, una vez que R se incluye en la función. Esto ya que la definición de producto marginal de un factor requiere que las cantidades de todos los otros factores se mantengan constantes a medida que una unidad más del factor variable se agrega. Pero cuando los recursos se mantienen constantes, entonces no se puede hacer una unidad extra de producto a medida que el trabajo o el capital se aumentan, porque no hay sustancia física para el producto extra a partir del cual éste pueda ser hecho. Tendría que ser producido de la nada, quebrantando la primera ley de la termodinámica”.

1.2. Elementos de la teoría económica del valor y del precio en los recursos minerales: Aproximación y crítica

Se describen algunos elementos de la teoría económica del valor y del precio en los recursos minerales, con el objetivo de realizar una aproximación clara a la teoría económica. Se describen a continuación algunos de las nociones más importantes relacionadas con el concepto de valor y del precio en los recursos minerales. Para cumplir este objetivo se toman como base alguna de las unidades temáticas planteadas en el curso de maestría *economía de la energía y los recursos naturales* y al mismo tiempo alguno de los artículos de referencia que sirvieron de base en la realización de este curso. Es necesario resaltar, que se presentan a manera de relatoría (dadas las ventajas que presenta este tipo de trabajo) el conjunto de cuatro artículos que nos ayudan a realizar una aproximación clara a determinados elementos de la teoría económica del valor y del precio en los recursos minerales.

Se efectúa, en primer lugar, un análisis sobre el artículo “Investigación sobre la naturaleza de las leyes de granos con una opinión sobre la nueva ley de trigos propuesta para Escocia” (Anderson, 1777). En segunda instancia, se lleva a cabo un análisis sobre el artículo “La culminación de la renta: Ricardo”

(Álvarez, 1986). Después, se presenta un análisis el artículo “Distribución de la renta: Teoría de la producción y de la productividad marginal” (Samuelson, 1968). Por último, se muestra un análisis sobre el artículo “La renta petrolera” (Álvarez, 2000).

Relatoría 1. Investigación sobre la naturaleza de las leyes de granos con una opinión sobre la nueva ley de trigos propuesta para Escocia (Anderson, 1777).

Esta nota de Anderson tiene como propósito analizar por qué surgen las leyes de granos, con base en una teoría de la renta.

El autor parte de una afirmación muy conocida, según la cual el precio de los productos agrícolas es alto ya que los propietarios de la tierra exigen rentas muy elevadas, con el fin de desvirtuarla. En tal sentido, concluye que no es la renta del suelo la que determina el precio del producto, sino más bien que es el precio del producto el que determina la renta de la tierra.

Anderson señala que, en cada país, la demanda de grano debe satisfacer las necesidades de todos sus habitantes; pero, el alto costo de importarlo, se hace necesario considerar su producción interna. Ante esta situación, el precio ofrecido varía considerablemente según las circunstancias y, a continuación, desarrolla la teoría de la renta diferencial.

Con base en dicha teoría, el autor demuestra por qué es mejor producir los granos internamente que importarlos, así como también analiza algunas medidas e indica quienes pueden resultar beneficiados y perjudicados con esta medida. De su planteamiento se desprende que la demanda efectiva y la fertilidad del suelo de la región en la cual son producidos los granos determinan el precio de mercado de los mismos y, por ende, la renta de la tierra.

Otra afirmación que se deduce -y que, en efecto, él realiza- de todo lo anterior es que si baja el precio del grano, baja la renta, pero no al contrario, es decir, si baja la renta baja el precio del grano.

Adicionalmente, Anderson justifica las políticas de subsidios y apoyos a la agricultura, con el objeto de mejorar los terrenos –léase, volverlos más productivos- y disminuir los precios agrícolas, aumentar las rentas e incentivar la agricultura y la manufactura.

Relatoría 2. La culminación de la renta: Ricardo (Álvarez, 1986)

En este artículo el autor tiene como propósito, destacar la importancia que la teoría de la renta ricardiana tiene en una interpretación de la crisis capitalista, además, de presentar una hipótesis interpretativa para las relaciones de la renta con la crisis de la renta petrolera.

Dentro de los puntos de partida, se pueden mencionar los siguientes:

La teoría de la renta es el eje del planteamiento ricardiano en su teoría de la acumulación - siendo este uno de los aportes más importantes del trabajo de Ricardo. El propósito inicial de la lectura de Ricardo, es desarrollar una teoría del valor trabajo que tenga validez aún en presencia de la tierra. Para Ricardo el origen de la crisis de acumulación es exógeno al proceso de producción capitalista, es decir, que la repartición del excedente ha de efectuarse entre las utilidades del capital y las rentas de la tierra. Las crisis petrolera, no es otra cosa que la consolidación de la propiedad territorial petrolera a escala planetaria, que se debe interpretar como la existencia de una limitación relativa y temporal a la acumulación tradicional del capitalismo.

El desarrollo argumentativo que se plantea en este artículo, está basado en:

La importancia que tienen las relaciones entre los precios de los alimentos y las ganancias del capital en el esquema general de Ricardo. Para Ricardo es lógico que a un crecimiento poblacional por encima de las posibilidades técnicas de producción de la agricultura, se encuentra asociado un cambio de frontera agrícola hacia las peores tierras, con sus consecuentes mayores dificultades de producción, disminuyendo la rentabilidad del capital en la agricultura y consecuentemente en la sociedad en su conjunto. Además, la reducción de beneficios habrá detenido toda la acumulación, después de pagados los trabajadores, pasará a manos de los terratenientes y a los perceptores de diezmos y de impuestos. La solución se reduce a la importación de alimentos, pero existe un problema, Ricardo se podría ver forzado a, en primer lugar, declarar la abolición de la acumulación y en segundo lugar, buscar la abolición de la propiedad territorial, que son fuente de la renta y un obstáculo a la acumulación. Posteriormente, se realiza una crítica de los análisis oficiales que a su juicio se siguen sobre la crisis petrolera de los 70's, donde se siguen los planteamientos de Ricardo e ignoran los cambios presentados en el proceso de trabajo, en este sentido, estos cambios indujeron al desarrollo de una forma de acumulación aún más concentrada, que cambió los agentes ejecutores de esta actividad.

La conclusión que se puede realizar del texto en cuestión, es que Ricardo responde a la pregunta acerca de la compatibilidad entre la propiedad territorial y la ley del valor con dos respuestas: Primera, el valor no se altera ante la presencia de la propiedad territorial, y segunda, la propiedad territorial sólo afecta a la acumulación.

Relatoría 3. Distribución de la renta: Teoría de la producción y de la productividad marginal (Samuelson, 1968)

En este artículo Samuelson tiene como propósito determinar cómo se fijan en el mercado los precios de los factores de producción, a saber: las rentas de la tierra y otros recursos, los salarios de las distintas clases de trabajo, los tipos de interés del capital y los beneficios.

Dentro de los puntos de partida de Samuelson, se tienen:

El autor presenta tres factores de producción (tierra, trabajo, capital), pero su análisis a través del texto se limita solamente a indagar las relaciones entre dos factores de producción que devienen en la llamada ley de los rendimientos marginales decrecientes, efectuando de esta forma un análisis cartesiano. En tal sentido, es de destacar que Samuelson señala que la demanda de factores es conjunta e interdependiente, pero relega el análisis conjunto a un pie de la página. El instrumental matemático empleado por el autor está basado en el cálculo diferencial, el cual toma en cuenta el tiempo continuo; no obstante, las formalizaciones realizadas revelan un modelo estático.

El desarrollo argumentativo y las conclusiones a las que llega Samuelson acerca de la Teoría de la producción y de la productividad marginal configuran el llamado modelo “clásico” de equilibrio macroeconómico. Adicionalmente, es en este modelo y en sus conclusiones que se subyace el pensamiento político liberal, que propugna porque, en la distribución, a cada persona debe asignársele según su aporte, es decir, lo que produce.

Es importante señalar a continuación los elementos que se encuentran en este texto:

La importancia de realizar modelos dinámicos, que permitan realizar un análisis más aproximado a la realidad que se pretende investigar. Las discrepancias entre la teoría de la producción y la productividad marginal, que basa su análisis en la relación entre las categorías de trabajo y tierra, y la medición estadística de la función de producción, que toma en cuenta para su análisis solamente a los factores capital y trabajo, ignorando la tierra o recursos

naturales. Samuelson presenta una discrepancia entre la teoría y la realidad, que tiene que ver con las desigualdades en las retribuciones que se observan, al interior de factores similares en una misma actividad productiva, que se basa entre otros en criterios de tipo político.

Relatoría 4. La renta petrolera (Álvarez, 2000)

En este artículo el autor tiene como propósito, desarrollar una reflexión teórica sobre la problemática de la formación del precio de los materiales energéticos y los recursos naturales.

Dentro de los puntos de partida o las premisas de Álvarez en el artículo, se pueden mencionar:

La determinación del precio de los recursos energéticos es más compleja de lo que se piensa en la economía neoclásica con las leyes de oferta y demanda, señalando además, la insuficiencia de la teoría del valor trabajo para explicar el precio del petróleo. Ricardo plantea que la propiedad territorial y la consecuente creación de la renta alteran la ley del valor trabajo, extendiendo su análisis tanto a la agricultura como a la minería, sin tener en cuenta en este último caso, que los recursos son no renovables. La relación oferta - demanda, es secundaria en la determinación del precio.

El desarrollo argumentativo que hace el autor, está apoyado sucintamente en los siguientes puntos:

Se analiza y muestra luego, la teoría de la renta absoluta, planteada por Marx, deduciendo la ecuación ($RA = PRM - PP$), e indicando la incidencia que esta tiene en la elasticidad de la demanda. De igual modo, describe brevemente la renta de monopolio de Ricardo. Luego de ello, hace un análisis de la formación del precio, mediante el mecanismo de oferta y demanda, enfatizando en que el equilibrio de mercado no implica completa satisfacción de los consumidores, sino tan sólo que aquellos que tienen capacidad de compra coinciden en un punto con los vendedores. Se retoma además, el análisis de la renta petrolera, destacando el papel de la elasticidad de la demanda para la determinación del precio y las rentas. Realiza un breve análisis de la formación del precio y las rentas durante la crisis petrolera en los 70's y mediados de los 80's.

La conclusión que se puede realizar del artículo en consideración, es la necesidad de utilizar otras herramientas de análisis diferentes de las económicas, para la gestión de los recursos naturales, lo cual se entiende como, la necesidad de llevar a cabo estudios y análisis multidisciplinarios que potencien a nivel económico la gestión de los recursos naturales. Además, la formación del precio

será determinada por: El precio o costo de producción, desarrollo de la acumulación social e histórica de capital y una consiguiente distribución del ingreso entre los agentes participantes del proceso productivo, y la fortaleza (o debilidad) de la relación de propiedad que permite, reclamar una cierta parte del excedente social.

El autor en el artículo en consideración, debe ser más explícito con el problema de la renta petrolera en Colombia, además, se evidencia en el mismo, un tímido acercamiento con la relación termodinámica y economía, sin un desarrollo muy profundo.

Hasta aquí se ha mostrado como uno de los problemas de la teoría económica tradicional es la asignación intergeneracional de recursos no renovables. En este campo se ha definido la “tasa óptima de agotamiento del recurso” según la cual, el recurso debería agotarse de tal forma que la tasa de crecimiento del precio sea igual a la tasa de descuento. Además, Anderson justifica las políticas de subsidios y apoyos a la agricultura, con el objeto de mejorar los terrenos –léase, volverlos más productivos- y disminuir los precios agrícolas, aumentar las rentas e incentivar la agricultura y la manufactura. Ricardo responde a la pregunta acerca de la compatibilidad entre la propiedad territorial y la ley del valor con dos respuestas: Primera, el valor no se altera ante la presencia de la propiedad territorial, y segunda, la propiedad territorial sólo afecta a la acumulación.

El siguiente capítulo intenta definir los principales elementos de la valoración económica de los recursos naturales, tratando de responder ¿qué da valor a los recursos naturales?, ¿quién expresa estos valores? y ¿cómo se expresan estos valores? para de esta forma realizar un acercamiento claro y coherente que de respuesta al objetivo general de este trabajo.

Referencias bibliográficas

- AGUILERA F Y ALCÁNTARA V. (1994), *De la Economía ambiental a la economía ecológica*. Icaria: fuhem.
- ÁLVAREZ, CARLOS G. (2000), *Economía y Política Petrolera*. Comisión de Derechos Humanos y Paz. USO – ECOPETROL. Bogotá.
- ÁLVAREZ, CARLOS G. (1988), *La culminación de la renta: Ricardo. Renta y geopolítica de la energía*. Autores Antioqueños. Medellín: Secretaría de Educación y Cultura.
- ANDERSON, JAMES. (1986), *Investigación sobre la naturaleza de las leyes de granos con una opinión sobre la nueva ley de trigos propuesta para Escocia*. Extracto traducido por Carlos Guillermo Álvarez. Ciencias Humanas, No. 9. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- BERRÍO, RAMÓN. (1997), *Economía ¿ecológica?* Universidad Nacional, sede Medellín
- DALY, HERMAN. (1997), *Georgescu – Roegen Vs. Solow*. En: *Economía ¿ecológica?* Universidad Nacional.
- FRANCO G Y MOLINA J. (2001), *Hechos significativos, tendencias y aspectos de los minerales para el periodo 1995 – 2005*. En: *Revista Escenarios y Estrategias* N° 8.
- MARTÍNEZ ALIER. (1998), *Curso de economía ecológica*. PNUMA
- MARTÍNEZ ALIER Y ROCA JUSMET. (2003), *Economía Ecológica y Política Ambiental*. Fondo de Cultura Económica. México
- MEADOWS M ET AL. (1972), *Los Límites del Crecimiento: Informe al Club de Roma*
- PEARCE D Y TURNER K. (1995), *Economía de los recursos naturales y del medio ambiente*. Celeste Ediciones.

ROMERO, CARLOS. (1997), *Economía de los recursos ambientales y naturales*. Alianza editorial, Madrid.

SAMUELSON, PAUL A. (1968), *Curso de economía moderna*. Decimosexta edición. Madrid: Aguilar. Parte 4: Distribución de la renta. Cáp. 25: Teoría de la producción y de la productividad marginal, pp. 593-609.

SOLOW, ROBERT. (1974), *La Economía de los Recursos o los Recursos de la Economía*.

2. Elementos de la valoración económica de los recursos naturales

Introducción

Desde hace ya bastantes años, los recursos naturales (tanto renovables como no renovables) y el medio ambiente de manera general, cumplen por lo menos con cuatro funciones que son valoradas positivamente en la sociedad (Azqueta y Ferreiro, 1994):

- a) Forman parte de la función de producción de gran cantidad de bienes económicos – procesos productivos que consumen agua de una determinada calidad, aire, entre otros -.
- b) Proporcionan bienes naturales – paisaje, parques, entornos naturales, entre otros - , cuyos servicios son demandados por la sociedad. Entran a formar parte de la función de producción de utilidad de las economías domésticas.
- c) Actúan igualmente como un receptor de residuos y desechos de toda clase, producto tanto de la actividad productiva como consuntiva.
- d) El medio ambiente constituye un sistema integrado que proporciona los medios para sostener toda clase de vida.

Este proceso de valorar económicamente las anteriores funciones no es un problema sencillo. El proceso de valorar económicamente los recursos naturales significa poder contar con un indicador de su importancia en el bienestar de la sociedad que permita compararlos con otras posibles alternativas. Por lo anterior, lo normal será utilizar para ello un denominador común, que posibilite sopesar unas cosas y otras, este denominador común no es otro que el dinero.

A continuación se describirán algunos elementos relacionados con la valoración económica de los recursos naturales, que permitirán acercarnos de una forma clara y coherente para tratar de responder las preguntas del ¿el qué?; ¿el quién? y ¿el cómo? valorar los recursos minerales objetivo general de este trabajo.

2.1. *¿Qué da valor a los recursos naturales?*

El primer cuestionamiento que es necesario responder sin dejar de ser elemental es, ¿por qué tienen valor los recursos naturales? La respuesta a este cuestionamiento, dista de ser sencilla, como a primera instancia pudiera parecer y los siguientes dos elementos lo demuestran de una forma clara:

- a) De un lado se encuentran todas aquellas posturas derivadas de la ética de la tierra de Aldo Leopold, para las que la naturaleza no humana tiene un valor intrínseco, inherente y posee por tanto derechos morales y naturales. Se puede llegar a afirmar que las cosas – incluida la vida humana – tienen valor, ya que, contribuyen a la integridad, estabilidad y belleza de la comunidad biótica. Esta filosofía naturalista desemboca en el reconocimiento de los derechos de los animales y otros seres vivos, lo que plantea problemas filosóficos bastante serios, derivados de la necesidad de responder al interrogante de qué es precisamente lo que les hace susceptibles de poseer estos derechos: cuál de sus características es la que les concede esta titularidad (Pearce y Turner, 1995).
- b) Del otro lado, se encuentra la ética antropocéntrica, alejada un poco de la sensibilidad hacia los recursos naturales que poseen algunas sociedades actuales, para la que lo que le confiere valor a las cosas es su relación con el ser humano: las cosas tienen un valor en tanto y en la medida en la que se lo den las personas.

En términos generales la economía se encuentra inmersa en la órbita de la segunda de estas opciones, aunque con algunas matizaciones. Lo anterior se puede denominar como una ética antropocéntrica extendida, en la que la naturaleza tiene una serie de valores instrumentales para el ser humano, incluidas las generaciones futuras: valores de uso, de opción y de existencia. Este planteamiento, por otro lado, no resulta muy ajeno al de algunas de las propuestas institucionalistas, y pretende garantizar una cierta equidad intergeneracional.

Esta sería pues la primera de las opciones aludidas y la primera respuesta. Una postura antropocéntrica y no ecocéntrica: es el ser humano el que da valor a la naturaleza, a los recursos naturales - incluidos los recursos minerales, objetivo de este trabajo - y al medio ambiente en general, teniendo en cuenta el valor de uso.

2.2. *¿Quién expresa estos valores?*

Aceptando el anterior punto, es decir, que prima una postura antropocéntrica y no econocéntrica, la siguiente pregunta es clara: ¿quién da valor a los recursos naturales? O, dicho de otro modo: ¿de quién son los recursos naturales y el medio ambiente en general?, ¿podrían ser considerados, por poner un ejemplo, patrimonio nacional?

El tema es doblemente complicado en el ámbito sobre quién expresa los valores de los recursos naturales, ya que cada vez son mas frecuentes los casos en los que la actividad nociva para el medio ambiente y los recursos naturales se origina en un grupo social determinado (un país, un departamento, un municipio, un corregimiento, una vereda, por ejemplo), mientras que buena parte de sus consecuencias negativas las padecen también otros.

Retomando la pregunta de quién expresa estos valores, en la Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en junio de 1992, se presentó una propuesta para considerar los bosques tropicales como patrimonio de la humanidad, propuesta que fue rechazada como consecuencia a la oposición de los países subdesarrollados. El motivo aludido era bien simple: siendo estos países poseedores de un activo cada vez más escaso y valioso, no estaban dispuestos a hipotecar las posibilidades económicas que ello les confiere. Contaban, además, con el apoyo de algunos economistas, por ejemplo, que comparten la opinión de que si se concedieran derechos de propiedad sobre estos bosques a los pueblos indígenas que los habitan, la preservación del medio ambiente estaría garantizada, ya que no estarían dispuestos a cambiar por dinero su cultura, su modo de vida. Desgraciadamente y a pesar de algunas experiencias en contrario, la historia reciente de algunos países subdesarrollados, que no han tenido inconveniente en alquilar parte de su territorio, incluso habitado (por algún grupo rival al gobierno de turno), como vertedero de basuras tóxicas y altamente contaminantes, no hace fácil compartir este optimismo.

El problema, sin embargo, es real: no parece justo que los países subdesarrollados poseedores de estos recursos naturales, y que son por definición los menos culpables de que las cosas hayan llegado al extremo al que lo han hecho, tengan que renunciar al disfrute de los rendimientos económicos que les podrían proporcionar (tremendamente necesarios, por otro

lado); y ello porque se lo demandan, en nombre de la humanidad, quienes no tuvieron ningún reparo en acabar con los que les habían correspondido, en un proceso de enriquecimiento acelerado: los hoy países desarrollados.

En cualquier caso, y volviendo al tema objeto del interrogante planteado, es probable que la respuesta más aceptada por la economía sea la de que el medio ambiente, y algunos recursos naturales críticos, son propiedad de toda la humanidad, y es por tanto ella la que ha de expresar su valoración de los mismos. Incluyendo naturalmente la parte que todavía no está aquí para expresarse, lo que ya plantea un problema serio: el de las generaciones futuras.

2.3. *¿Cómo se expresan estos valores?*

Se presenta aquí la tercera de las preguntas relevantes: ¿cómo expresa el ser humano el valor que confiere a estos recursos, propiedad de todos?, ¿Qué mecanismo se considera adecuado para la manifestación de estas preferencias?

Como se verá en el capítulo 3 de este trabajo y en una presentación más formal y al igual que en los casos anteriores, son dos las posibilidades que se presentan:

2.3.1. *Vía preferencias individuales*

Es decir, dejando que el individuo exprese la consideración que le merecen dichos bienes o recursos naturales.

Esta posición se encuentra en la base de la mayoría de los métodos, tanto directos como indirectos, que proporciona la teoría económica para la valoración de intangibles. En efecto, se pretende con ellos descubrir cómo actuaría el individuo en presencia de un mercado hipotético en el que se ofreciera dicho bien (método de la valoración contingente por ejemplo) o cómo lo valora, indirectamente, a través del estudio de algún mercado subrogado (funciones hedónicas, método del coste de viaje). De esta forma, se busca obtener la misma información que proporciona el mercado con respecto a los bienes privados: un indicador de la intensidad de las preferencias individuales con respecto a ellos.

Estos métodos conducen a una valoración no sólo individual sino, además, de mercado: valoramos como lo haría un hipotético mercado.

Estos métodos de valoración de intangibles confluyen, por tanto, en un tipo de valoración económica muy discutible. Por ello han tendido a evitar los aspectos más negativos de la misma (sin lograrlo completamente) a través de dos matizaciones complementarias:

En primer lugar, y para evitar la excesiva dependencia de las valoraciones encontradas con respecto a la distribución de la renta, procediendo a normalizar con relación a esta variable el resultado de los estudios empíricos. Con ello se evita la conclusión de que, dado que un medio ambiente de mayor calidad es, desde un punto de vista económico, un bien superior, todas las medidas de mejora del mismo deberían concentrarse en zonas de alto poder adquisitivo (las que expresan una mayor disposición a pagar por ellas), mientras que el deterioro se concentraría en las más deprimidas.

En segundo lugar, combinando esta forma individualista de valoración, de expresión de preferencias, con una segunda posibilidad, la que se presenta seguidamente.

2.3.2. *Vía preferencias colectivas*

Existe, toda una serie de interrogantes sobre el medio ambiente y los recursos naturales, cuya solución puede ser excesivamente arriesgada dejar en manos de un proceso de expresión de preferencias individuales, como el expuesto anteriormente. Y ello, por ejemplo, porque involucran a otros colectivos que no pueden expresar su opinión.

En este caso, el mantenimiento del marco ético de referencia tradicional de la economía se hace complicado. Reposa éste, implícitamente, en lo que se puede denominar el utilitarismo neoclásico: cada persona busca maximizar su propio bienestar y se debe aceptar este egoísmo porque, al actuar así, y dada la distribución de la renta, lleva a la sociedad a una situación óptima. Se trata por tanto de una adaptación del utilitarismo de la economía clásica (según el cual de lo que se trataba era de garantizar el mayor bienestar colectivo, como suma de los

niveles de bienestar individuales) a una situación en la que ya no se aceptan ni las comparaciones interpersonales de utilidad, ni que ésta se pueda medir esencialmente.

La aceptación de este principio, sin embargo, supone, con respecto a los grupos afectados pero sin poder de decisión, que sus intereses serán tenidos en cuenta siempre y cuando su bienestar forme parte de la función de utilidad de los agentes que deciden y en la medida en que la afecten: lo que significa, en la medida en que los que tomen las decisiones sean altruistas.

Se presenta en este punto un doble problema:

Por un lado, si se acepta como válido el supuesto de independencia de las preferencias individuales (mi bienestar no depende, ni para bien ni para mal, de lo que te ocurra), como tiende a hacer la teoría económica tradicional, no deja sitio para una conducta altruista (ni envidiosa).

Puede, por el contrario, que los individuos sean altruistas, y por tanto el modelo se haya equivocado al suponer esta independencia. En este caso se tiene una posible vía de salida: como el bienestar de los demás se toma en cuenta, sus intereses serán defendidos por aquellos que “votan” (que influyen sobre las decisiones finalmente adoptadas).

Por otro lado, es igualmente probable, por desgracia, que las circunstancias no permitan expresar este altruismo. El bienestar de los demás, bajo el supuesto del altruismo, forma parte de la función de utilidad individual. Ahora bien, como tal, el bienestar ajeno tiene el carácter de un bien público: es decir, cualquiera que sea el mecanismo a través del cual se eleva su nivel el individuo se siente mejor. En el campo de los bienes públicos, sin embargo, surge con frecuencia el problema denominado la paradoja del aislamiento (Sen, 1997), y que impide a las personas mostrar sus preferencias como miembros de un colectivo (altruistas), llevándoles a actuar de forma individualista (egoísta).

Hasta aquí se ha dado respuesta a los interrogantes ¿qué da valor a los recursos naturales?, ¿quién expresa estos valores? y ¿cómo se expresan estos valores? pasando estas respuestas por la esfera de una visión antropocéntrica vía preferencias individuales o vía preferencias de carácter colectivo. Teniendo presente las condiciones socioculturales de Colombia, se puede

decir, que la respuesta a los anteriores interrogantes en algunos casos se da vía preferencias colectivas.

Teniendo como marco de referencia la primera y segunda parte de este trabajo, se define en el siguiente capítulo, la aproximación metodológica para la valoración de los recursos minerales de Colombia, tratando de realizar un acercamiento entre la valoración y los recursos minerales, al mismo tiempo que se muestran algunos de los métodos tradicionales de valoración de recursos minerales.

Referencias bibliográficas

AGUILERA F Y ALCÁNTARA V. (1994), *De la Economía ambiental a la economía ecológica*. Icaria: Fuhem.

AZQUETA D Y FERREIRO A. (1994), *Análisis Económico y Gestión de Recursos Naturales*. Alianza editorial. Madrid.

BERRÍO, RAMÓN. (1997), *Economía ¿ecológica?* Universidad Nacional, sede Medellín.

DALY, HERMAN. (1997), *Georgescu – Roegen Vs. Solow*. En: *Economía ¿ecológica?* Universidad Nacional.

MARTÍNEZ ALIER. (1998), *Curso de economía ecológica*. PNUMA.

MARTÍNEZ ALIER Y ROCA JUSMET. (2003), *Economía Ecológica y Política Ambiental*. Fondo de Cultura Económica. México.

MEADOWS M ET AL. (1972), *Los Límites del Crecimiento: Informe al Club de Roma*.

PEARCE D Y TURNER K. (1995), *Economía de los recursos naturales y del medio ambiente*. Celeste Ediciones.

ROMERO, CARLOS. (1997), *Economía de los recursos ambientales y naturales*. Alianza editorial, Madrid.

NAREDO, J.M., FERRE, P. (1993), *Hacia una ciencia de los recursos naturales*. Ed Siglo XXI.

PNUM. (1987), *Informe: Nuestro futuro común*, de la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo.

POSADA, LUIS Y VARGAS, ELKIN. (1997), *Desarrollo económico sostenible, relaciones internacionales y recursos minero –energéticos*. Universidad Nacional de Colombia.

SEN, AMARTYA. (1997), *Desarrollo y Libertad*. Capítulo séptimo. Las hambrunas y otras crisis.

TURNER Y PEARCE. (1995), citados *Environmental Science for Environmental Managment*. Editado por Timothy O’Riordan, New York.

3. Metodología para una valoración económica de los recursos minerales en Colombia

Introducción

A nivel mundial, desde hace algún tiempo se viene hablando sobre la necesidad de integrar la naturaleza en las cuentas económicas tradicionales como una forma de modificar los patrones de consumo de recursos naturales que están afectando las condiciones de vida en el planeta. Se propone incluir los recursos naturales y los servicios de los ecosistemas bajo la denominación de capital natural, dicho capital es complementario a las otras formas de capital incluidas en la función de producción.

El problema surge al intentar dar valor económico a los recursos naturales, la economía ambiental utiliza metodologías de valoración que son más o menos discutibles y, desde la economía ecológica, se desarrollan alternativas para la medida indirecta de la sostenibilidad como son las mochilas ecológicas o el requerimiento total de materiales, o las huellas ecológicas o requerimientos de espacio último, siendo estas una de las posibles aplicaciones de los modelos propuestos para valorar en términos físicos la riqueza de los países e incluirlas en los nuevos sistemas de cuentas que incluyen el entorno natural.

La importancia de una adecuada valoración económica de los recursos minerales en Colombia (Posada y Vargas, 1997), viene dada en los siguientes términos, si bien la revisión del patrón de escasez requiere de un mayor conocimiento y valoración de los recursos naturales no significa que el Estado colombiano vaya a obtener mayores beneficios en el corto plazo, la mayor importancia del capital natural en el modelo alternativo – entendido como el modelo de desarrollo sostenible según lo establece la Constitución Política Nacional - implica, en general, la necesidad de proceder a la valoración o avalúo sistemático, entendido como un proceso dinámico más no estático, del patrimonio natural y, por tanto, en

particular, de los yacimientos minerales para poder contar en este caso con una medida del patrimonio minero de la Nación e incorporar a las denominadas cuentas nacionales el valor público de los yacimientos minerales (Posada y Vargas, 1997).

Las metodologías tradicionales de valoración enfatizan en la valoración costo - beneficio, es decir, en la cuantificación y valoración monetaria, involucrando o teniendo en cuenta básicamente consideraciones microeconómicas en su análisis, obteniendo una valoración financiera más socioeconómica.

La metodología de valoración que aquí se propone, permitirá bajo el concepto de desarrollo sostenible, conocer la riqueza o dotación mineral del país, además, permitirá sistematizar la información de las entidades responsables de la gestión de los recursos minerales en Colombia, para de esta forma reorientar, con base en informaciones pertinentes y adecuadas, las políticas nacionales de extracción de los recursos minerales.

3.1. La valoración y los recursos minerales

Es valido tener en cuenta que toda mina se establece como un cuerpo mineralizado que tiene unas dimensiones limitadas. Algunos de estos cuerpos están muy localizados y se explotan en un lapso de meses; otros por el contrario son extensos, aparentemente con recursos sin fin, pero más temprano que tarde serán agotados.

Existen varios elementos de la extracción y explotación de los recursos minerales que condicionan la problemática de la valoración de un yacimiento, a saber:

- a. La ocurrencia geográfica fija, allí donde se encuentra el yacimiento, al margen de consideraciones legales, políticas o económico - sociales.
- b. El agotamiento progresivo e inexorable del objeto de la actividad de extracción; el yacimiento mineral.
- c. La subordinación y dependencia a la cantidad, calidad, disposición y variabilidad del cuerpo mineralizado explotable.
- d. El incremento de los costos de extracción en el tiempo, conforme aumentan las distancias y las profundidades.

Desde el punto de vista teórico, todo yacimiento mineral, que en realidad es único en términos de las características anteriores, no puede reemplazarse cuando es agotado. En la práctica se pueden encontrar o comparar yacimientos similares. Este aspecto sin embargo, dificulta la comparación del valor de las operaciones mineras y su riesgo se incrementa cuando no hay garantía de que una campaña de exploración conduzca al hallazgo de un nuevo depósito mineral para reemplazar el depósito agotado.

En el mismo sentido, se pueden definir, otras características y restricciones como lo son la irregularidad en los precios, el carácter oligopólico de la industria minera, la especulación los períodos muertos iniciales sin rentabilidad, haciendo que las inversiones mineras sean escasas y exijan alta rentabilidad, en algunas oportunidades difícil de lograr. Dados tales aspectos y restricciones el método de valoración que se proponga y utilice debe ser del todo confiable y la honestidad e idoneidad de los evaluadores debe estar a toda prueba.

No obstante las peculiaridades de la actividad minera, los aspectos de la valoración de los negocios mineros no difieren sustancialmente de los utilizados en otras industrias o actividades. Sin embargo, es necesario tenerlas en cuenta ya que las estrategias de operación de las minas frente al futuro sí pueden ser bastante diferentes. Las mayores dificultades se sitúan en el campo de la predicción de algunos aspectos de mercado, lo que se traduce en niveles más altos de riesgo e incertidumbre y la imposibilidad de hacer previsiones detalladas sobre el avance de la extracción minera por el desconocimiento de las características geotécnicas y mineralógicas de los yacimientos, a escala real.

Se sustenta así la problemática de la valoración minera (Azcárate, 1982); “Cuando la valoración se refiera a una expectativa minera¹, es decir a los yacimientos, que puedan descubrirse mediante un programa de investigación, las dificultades se multiplican. Ya que, la tarea de evaluación económica se refiere a un yacimiento que es sólo una de las piezas que integran un negocio minero y el procedimiento de valoración para yacimientos no ha estado nunca tan claro ni desarrollado como en el caso del conjunto del proyecto minero.

¹ Otro de los problemas que se desprende de este análisis es la manera en cómo medir la expectativa minera. En términos generales, puede ser mediante una amplia gama de variables que permitan medir o comparar a nivel global o regional, aspectos tales como: potencial minero, estabilidad fiscal, jurídica, institucional y política, infraestructura, seguridad, entre otras.

Así, todos los riesgos geológicos de gran envergadura, que caracterizan y acompañan las etapas iniciales de investigación minera, están presentes y se deben considerar a la hora de la valoración económica de la expectativa: sólo tras la realización de todas las campañas de investigación podrán ser reducidos hasta mínimos conocidos, durante la fase de evaluación, con la que terminará el hallazgo y estudio del yacimiento previo a su explotación.

De acuerdo con este enfoque, la valoración minera se reduce al problema de estimar, de antemano los resultados de cada ejercicio de la futura explotación, y distinguir sobre los mismos el influjo particular de los factores que contribuyen a su establecimiento, entre ellos el yacimiento mineral.”

Asimismo, los efectos del tiempo tienen una enorme influencia en el valor de un proyecto u operación minera. La clave de los métodos de valoración económica de las minas, es por tanto el balance anual o flujo de caja de cada proyecto, referido a un único momento, a una determinada tasa de descuento. Esto significa que los precios de los minerales y los costos de operación deben predecirse, lo que introduce un elemento más de riesgo para las inversiones mineras si se tiene en cuenta el carácter cíclico de los precios de los minerales.

Al mismo tiempo y teniendo en cuenta la tasa de descuento a utilizar, existe un amplio debate, en vista de su gran influencia en el cálculo de la capacidad de una mina y de los ritmos de extracción periódica de los yacimientos minerales, y en consecuencia en su valoración.

Por ahora se enuncian, simplemente para recordar, algunos conceptos básicos sobre el cambio del valor del dinero en el tiempo y sus implicaciones en el sector minero, como los principios conceptuales de los principales métodos utilizados en la evaluación de minas.

Hay que resaltar, que, una suma determinada de dinero ahora es normalmente de mayor valor que una suma igual en el futuro, por tanto un inversionista está dispuesto a dar algunas ventajas para obtener un ingreso ya, cuando puede obtener ingresos más altos en el futuro. Algo semejante ocurre con los préstamos que las empresas adquieren en el presente deberán ser pagados después con una cantidad más alta. El largo tiempo transcurrido entre los desembolsos o gastos de inversión en exploración y desarrollo de las minas y los ingresos por

venta de los minerales extraídos, cuando están en operación, necesariamente implican que se está tratando con valores diferentes de dinero. Esta diferencia entre el valor (precio) de disponer de recursos más temprano que tarde es lo que normalmente se denomina tasa de interés (tasa de descuento).

Se señalan algunas implicaciones importantes en los proyectos mineros que no siempre tienen otras oportunidades de inversión para un gran proyecto de larga vida útil (Torries, 1998), pues se requieren reservas abundantes o significativas. En vista de que por definición, las reservas son cantidades de mineral a ser explotadas en el futuro, el valor presente de una tonelada de reservas es menor que el de una tonelada de mineral que pueda ser extraída inmediatamente; muchas de las decisiones de inversión durante el desarrollo del proyecto se relacionan con decidir si se realizan hoy o más tarde; las entidades públicas que buscan gravar con impuestos las reservas mineras para conseguir fondos para los proyectos del gobierno generalmente no entienden que las reservas no tienen el mismo valor presente.

Dicho de otro modo, a la tasa de interés también se la llama muy frecuentemente “costo del capital”, lo cual puede ser técnicamente apropiado desde el punto de vista contable para cargar los pagos de interés contra todos los fondos prestados y por pagar. No obstante, ello significaría que los fondos generados internamente en un proyecto, no tendrían costo puesto que no habría que pagar intereses contra ellos. Esta aproximación ignora totalmente el “costo de oportunidad” por el cual la empresa podría utilizar los fondos generados internamente para obtener ingresos alternativos adicionales.

Algo similar ocurre cuando se habla a veces de “costo actual” o “costo social” más bien que de costos de oportunidad, el cual no es fácil de determinar, cuando se incluyen los fondos generados internamente, así como los que provienen de las diferentes fuentes de financiación en un proyecto como lo pueden ser los bonos, acciones, ganancias retenidas, entre otros. En este punto lo que interesa es entonces el costo medio de la mezcla de fuentes de financiación empleadas, para lo cual habrá que determinar el costo efectivo de cada una.

En términos generales, casi todas las decisiones que se basan en el concepto del valor del dinero en el tiempo giran alrededor de la tasa de descuento adecuada para cada situación. Se resalta el hecho de que la determinación de la tasa de descuento que finalmente se aplica en la

mayoría de las compañías mineras está por fuera del control del personal de planeación (Runge, 1998); su especificación generalmente recae en la alta dirección. Se identifican además los siguientes elementos con influencia en tal especificación:

- La tasa de interés básica aplicable para inversiones con riesgo cero en el país.
- Asignaciones por el costo de capital (por ejemplo adiciones para fondos de equidad y fondos de deuda).
- Asignaciones para los riesgos técnico y financiero (por ejemplo la complejidad geológica; cambios en los costos de la financiación).
- Asignaciones para la mayor dependencia de su inversión.
- Asignaciones por permanencia en el largo plazo (para cubrir los costos de expansión o de consecución de un nuevo depósito luego de su agotamiento).

3.2. Métodos tradicionales de valoración de recursos minerales

Los siguientes métodos de valoración de minas parten del análisis de los proyectos de inversión que pueden adelantarse en ellas y siempre está implícito el concepto según el cual el valor de una mina es el resultado de actualizar sus ganancias futuras.

3.2.1. Valor presente neto

Las técnicas de valoración más difundidas exigen la actualización de los costos y beneficios futuros. Tal vez, el método más usado es el del Valor Presente Neto, VPN, el cual requiere una tasa de interés predeterminada, que representa el costo del capital de la firma que adelanta el proyecto y las otras tasas que se considere de influencia, como la de inflación, por ejemplo. El flujo de caja neto esperado a través de la vida del proyecto se descuenta a esta tasa hasta un momento dado, generalmente el presente, o año cero.

El VPN es por tanto una función del tiempo:

$$VPN = V(T) \quad (4)$$

Si se tienen múltiples flujos de caja anuales, la ecuación (4) puede expresarse como:

$$VPN = \sum_{n=0}^{\infty} (1+r)^{-n} * A_n - \sum_{n=0}^{\infty} (1+r)^{-n} * I_n \quad (5)$$

En donde la primera parte de la ecuación (5) denota los ingresos netos descontados y la segunda parte de esta ecuación (5), las inversiones descontadas; r es la tasa de interés predeterminada. En términos generales cuando el $VPN > 0$, el proyecto es atractivo.

Es necesario tener en cuenta que dado el carácter no renovable de los recursos minerales, el valor presente neto de una operación minera también está en dependencia de la cantidad del recurso (R) todavía no disponible (Lane, 1988). En general, este disminuye a medida que el recurso sea consumido. Por tanto:

$$VPN = V(T, R) \quad (6)$$

Teniendo en cuenta lo anterior, ya se había anotado que dicho valor va a depender de muchas otras variables que describen la forma cómo la operación va a ser conducida. Si estas variables se representan por el símbolo Ω para definir las estrategias de operación a ser utilizadas, entonces:

$$VPN = V(T, R, \Omega) \quad (7)$$

En el caso de las estrategias para una mina, Ω puede representar los tenores de corte variable que puede tomar valores diferentes g_1, g_2, g_3, \dots para los años remanentes de la vida de la mina. Una secuencia de estos valores pueden ser llamados una política de tenor de corte. Por tanto, si los tenores de corte son los únicos parámetros que están siendo investigados:

$$\Omega = g_1, g_2, g_3, \dots \quad (8)$$

Reemplazando la ecuación (8) en la ecuación (7), se tiene:

$$VPN = V(T, R, g_1, g_2, g_3, \dots) \quad (9)$$

Para terminar, de todos los conjuntos de estrategias de operación, Ω , debería haber al menos uno que es el óptimo en el sentido que da el valor máximo a la ecuación (9).

3.2.2. *Modelo de Hoskold (ITGE, 1991)*

La ecuación para la de evaluación de minas de Henry Hoskold, fue creada por este autor en 1876 con una formulación relativamente sencilla gracias a lo cual, a partir de entonces, se ha venido empleando recurrentemente en la industria minera. Este modelo (Colorado School of Mines, 1975), incorpora 2 tasas de interés, una de las cuales se asimila a un fondo de amortización. Hoskold asume básicamente que el proyecto minero genera ahorros uniformes anuales que deberán producir un interés especulativo dado “r”, sobre la inversión, y adicionalmente un depósito o fondo de amortización de una tasa de interés más baja “i”. El fondo de amortización se deja de lado en los pagos anuales y se invierte a esta tasa de seguridad “i” (por ejemplo en bonos del gobierno que puedan ser liquidados fácilmente), logrando la redención total de la inversión inicial al término de las operaciones mineras

Este modelo de Hoskold se ha generalizado para operaciones con ingresos anuales no uniformes. Originalmente, las anualidades incluían solamente beneficios contables pero luego se utilizó también el flujo de caja anual, aunque en este caso se obtienen resultados diferentes.

El modelo de Hoskold viene dado entonces por la siguiente expresión:

$$VPN = \frac{A}{\frac{i}{(1+i)^n - 1} + r} \quad (10)$$

En donde:

VPN: valor de la mina.

A: beneficio neto anual (anualidad).

i: tasa de interés de seguridad (interés de un fondo de amortización).

r: tasa de interés especulativo (tasa de riesgo sobre la recuperación de la inversión).

3.2.3. *Modelo de Morkill (ITGE, 1991)*

El modelo de Morkill, se propuso como una modificación para perfeccionar la concepción valorativa de Hoskold, que consistió en los siguientes elementos, si bien los beneficios anuales se desglosaban en dos sumandos: de beneficio y de amortización del negocio al

terminar la explotación, no era lógico que estas componentes de capitalización y plusvalía se mantuvieran constantes durante la vida de la mina.

En el modelo de Morkill el beneficio pagado al final de cada ejercicio no responde a la rentabilidad de todo el proyecto, cuyo valor es el VPN, sino a la parte residual del mismo VPN_j , que aun no ha sido explotada ni amortizada. De esta manera, al ir disminuyendo progresivamente esta componente del beneficio anual (A), el resto del mismo,

$a_j = (A_j - VPN_j)$, empleado en amortizar el valor del yacimiento, será cada año mayor. La descomposición de los resultados anuales ($A = A_j$) en VPN_j y A_j da para los “n” años de vida de la explotación:

$$VPN = A * \frac{1 - \frac{1}{(1+r)^n}}{r} \quad (11)$$

3.2.4. Modelo de flujo de caja descontado (Vargas, 2001)

Se trata de una ágil técnica para la evaluación de proyectos de inversión, que se conoce también en el nombre de “tasa interna de retorno”, muy expandida en la actualidad, que incorpora tanto el concepto de tasa de descuento como el de flujo de caja de manera similar al valor presente neto, VPN. Sin embargo en vez de usar una tasa de interés predeterminada, el analista determina qué tasa de interés “i” hace el valor presente de la sumatoria de los flujos de caja igual al valor presente de los desembolsos combinados de inversión.

Este método asume entonces un $VPN = 0$ y establece a qué tasa de interés se satisface la siguiente condición:

$$VPN = \sum_{n=0}^{\infty} (1+i)^{-n} * A_n - \sum_{n=0}^{\infty} (1+i)^{-n} * I_n = 0 \quad (12)$$

Teniendo en cuenta los cuatro modelos anteriores, dentro de las críticas más comunes a las técnicas tradicionales de valoración utilizadas en minería se pueden enumerar las siguientes:

- Se define el valor de una propiedad minera de forma sencilla y atractiva, simplificando su vida económica y asimilándola a un modelo, más o menos lógico, pero bastante ajeno a la marcha real de una explotación minera.
- El modelo de Hoskold conduce, para los valores reales de las tasas ($r \gg i$) a una infravaloración sistemática de los negocios mineros. Mientras más difieran las tasas

entre si, más devalúan la propiedad minera. Además, a los modelos utilizados les falta representatividad, puesto que las empresas mineras nunca amortizan sus inversiones mediante la creación de fondos de capitalización con pagos anuales sino que invierten permanentemente sus fondos donde consigan mayor rentabilidad posible. Por estas razones, el modelo de Hoskold ha dejado de utilizarse en la empresa privada, pero aun es muy frecuente en los gobiernos su aplicación para la determinación del valor de las propiedades mineras, con el propósito de fijar impuestos.

- Ninguno de estos modelos diferencia el valor del yacimiento, como constituyente parcial del negocio minero, que es precisamente lo que se debe establecer de acuerdo con los objetivos de toda investigación minera.

Asumiendo las anteriores críticas o cuestionamientos, en la industria minera se ha impuesto el uso del modelo de la tasa interna de retorno o flujo de caja descontado por las siguientes razones:

- Proporciona una medida más útil de la rentabilidad esperada y por tanto es más significativo para comparar alternativas.
- Da una tasa interna de retomo real sobre el capital invertido y elimina la necesidad de determinar un costo de capital aceptable para la firma. Este método aunque es más dispendioso que el cálculo del valor presente neto es bastante flexible al discriminar entre inversiones con diferentes esquemas de flujos de caja en el tiempo y considera el total de la vida económica de la operación. Su principal debilidad es la asunción implícita de que todos los flujos de caja generados por el proyecto pueden reinvertirse en oportunidades que producen una tasa de retomo comparable.

Por otro lado, un método de frecuente aplicación por parte de los gobiernos es del análisis costo - beneficio de los proyectos, el cual puede convertirse en el análisis de los costos y beneficios sociales de un proyecto y aun ser trabajado dotándolo de restricciones con miras a la sostenibilidad. Se discuten estos alcances incorporando el concepto de precios sombra cuando por alguna razón, particularmente por las fallas de gobierno, los precios reales están distorsionados (Dasgupta et al, 1992). En estos análisis también ha sido posible considerar el concepto de “valor económico total”, que además del valor de uso comprende tanto el “valor de opción” (el que reconoce que los individuos que no usan un recurso pueden valorar

la opción de poder usarlo en el futuro), como el “valor de no uso” (aquel que puede darle un individuo a algo que no usa ni pretende usar en el futuro). Esto representa una metodología para trasladar recursos a las futuras generaciones y eventualmente a su preservación, lo que ha sido categorizado por varios autores (Posada y Vargas, 1997) como valores “herencia” y “existencia”.

Con frecuencia un resultado que se base en el simple valor de los datos estimados se presenta como “la solución” del problema de inversión analizado. Además ocurre algo más impresionante al deducir de tal solución una medida de la rentabilidad, cuya precisión es apenas ilusoria. Todo cálculo de esta naturaleza proviene necesariamente de datos estimados que están lejos de ser precisos; hay una gran incertidumbre asociada a tales datos, lo cual no se ve reflejado en la tasa de retomo calculada cuando se usa el valor simple de los datos estimados. Al respecto (Torries, 1998), se enfatiza que no se pueden evaluar del mismo modo un proyecto en el que los precios y costos sean conocidos con certeza y otro, en el cual esos factores son inciertos, pero en ambos casos es procedente la evaluación. El segundo caso podría presentarse en la determinación de un flujo de caja descontado de una mina de oro cuyos costos son altos y no podría operar sino cuando el precio esté por encima de US\$ 450 la onza troy. En vista de que los analistas no pueden predecir cuándo esto sucederá y menos aun el monto del beneficio que se obtendría con su eventual operación, el flujo de caja dará solamente una ayuda muy limitada al inversionista. Sin embargo, esto no significa que la mina no tenga valor sino que su valor debe ser determinado de otra manera. Afortunadamente, los analistas podrán contar con varios métodos para este tipo de determinaciones.

3.3. Metodología de valoración de yacimientos minerales

Como se había planteado anteriormente, el objetivo general de este trabajo es proponer una metodología para una valoración económica de los recursos minerales de Colombia. Teniendo presente que el país requiere definir una metodología para la valoración económica de sus recursos minerales como una herramienta de gestión - planeación, regulación y control - de los recursos naturales no renovables, que pueda ser aplicada en el largo plazo, con miras

a insertar estos recursos en los procesos de cuentas nacionales a continuación se describen algunos elementos que permitirán realizar un acercamiento al propósito general de este trabajo.

Tomando como criterio el informe Brundtland (Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo, 1987) sobre el uso de recursos no renovables, “la tasa de agotamiento, el énfasis en el reciclaje y la economía del uso, deberían graduarse de manera que se asegure que un recurso de ese tipo no se agote antes de hallarse un sucedáneo aceptable. El desarrollo sostenible requiere que la tasa de agotamiento de los recursos no renovables excluya el menor número posible de opciones futuras”. Ante esta situación, los países industrializados enfatizan la investigación en tecnologías de los energéticos y los países en desarrollo tratan, con precario éxito, de prolongar la vida útil de sus reservas de combustibles fósiles para que no sólo les permitan proveerse de otros minerales presentes en su territorio, sino también sacar provecho de las necesidades de los otros países en el comercio internacional. Es en este contexto (Naredo, 1993) en que el mercado deja de ser el medio que garantiza el “óptimo económico” para convertirse en un instrumento más para tomar las decisiones que tiendan a logro de objetivos socialmente acordados.

Si bien la revisión del patrón de escasez (cada vez los recursos naturales son más escasos que el capital hecho por el hombre) en favor de una mayor valoración de los recursos naturales no significa que un Estado vaya a obtener mayores beneficios en el corto plazo, la mayor importancia del capital natural implica, en general, la necesidad de proceder a la valoración o avalúo sistemático del patrimonio natural y por tanto, en particular, de los yacimientos minerales para poder contar en este caso con una medida del “patrimonio minero” de una nación e incorporar a las denominadas cuentas nacionales el valor público de los yacimientos minerales (Vargas, 2001). Para realizar esta cuantificación se han desarrollado métodos de cálculo, como por ejemplo, la deducción del valor del yacimiento a partir del valor presente de sus futuros beneficios lo que involucra descontar precios futuros de los minerales o recurrir a tratamientos de valoración con criterios de sostenibilidad como la Regla de Capital Natural Constante (Turner y Pearce, 1990), pero cada vez es más necesario conectar estos métodos de valoración, producto de la economía tradicional, con el conocimiento físico de los recursos y los impactos a valorar, lo que requiere entonces de información sobre sus dotaciones y características que pueden suministrar los métodos de inventario y modelización, diseñados y

aplicados desde la lógica de los procesos físicos de formación de los recursos y de los impactos causados por su extracción. Estos dos aspectos de la valoración: el mercantil y el que involucra el conocimiento físico de la corteza terrestre y de la “biosfera”, en general, deberán complementarse para “lograr resultados prácticos de interés a escala social” (Naredo, 1993) y tratar de resolver las contradicciones entre los objetivos parciales y de corto plazo de las empresas privadas y aquellos más amplios y de largo plazo que exige el mantenimiento de los procesos productivos y la conservación del medio ambiente.

Se sostiene que: “Aunque en el caso de algunos recursos naturales, como los minerales, el petróleo o la tierra misma, existen mercados organizados y por tanto precios observables de los mismos, estos no reflejan adecuadamente las implicaciones de su carácter de recursos agotables (Sánchez). En la mayoría de los servicios ambientales y los correspondientes recursos que los proveen el problema de valoración es aún más difícil de resolver”. Por lo tanto, el valor de un yacimiento así sea deducido de los futuros precios de mercado en el caso de los recursos minerales lleva implícita dentro de muchas variables las siguientes:

- La variabilidad y la dependencia de las propiedades geológicas y mineralógicas del yacimiento y de las características naturales propias del medio donde él ocurre.
- Es también un reflejo de las condiciones de infraestructura física y minera de la región y el país.
- El marco económico general.
- El nivel de las tecnologías disponibles.
- La ubicación geográfica respecto a los mercados, y por último,
- Las dificultades e incertidumbres propias de la demanda.

Las variables anteriores son de gran influencia en la determinación del valor comercial de las empresas mineras y de gran actualidad y aplicación en Colombia en el caso de los programas de revisión del Contrato de Asociación vigente para la inversión petrolera y de la privatización de las participaciones del Estado en las empresas minero - energéticas como ha sido el caso de El Cerrejón y Cerro Matoso, donde el Estado poseía el 50% y el 47.7%, respectivamente.

Se presenta el siguiente enfoque para la valoración de los yacimientos minerales: “El origen de toda la riqueza producida hay que situarlo en el maridaje fructífero del criadero geológico

con los medios (de trabajo, financieros y técnicos), movilizados para la extracción, beneficio y comercialización del mineral” (Azcárate, 1982). En esta perspectiva, el procedimiento que este autor propone para valorar yacimientos que es de carácter sustractivo o residual, se describe a continuación:

Se ha visto que las explotaciones mineras producen beneficios directos para tres agentes principales:

- El inversionista y el operador de la mina.
- El titular de los derechos mineros por concepto de renta (una especie de pago por el derecho de acceso al recurso) y
- El Estado a través de tasas, contribuciones, impuestos en su función de asignación de recursos y distribución de riqueza, y por supuesto, las regalías, que en el caso colombiano tienen una especial connotación.

En este contexto, en su función productiva, el yacimiento mineral y los medios de trabajo actúan cada uno como sumas de capital rentable, cuya evaluación es factible a partir de los intereses que generan.

Una vez conocidos o previstos los resultados en conjunto para ambas sumas (yacimientos e instalaciones minerales) se deducen los resultados correspondientes a la segunda, fáciles de calcular, y se obtienen los beneficios que provienen del yacimiento. El valor así deducido es variable y dependiente de las propiedades del yacimiento, de las características propias del medio donde él ocurre y del momento en el cual se realiza el análisis, a saber:

- Marco económico general (coyuntura financiera, nivel de salarios y precios).
- Naturaleza y situación del mercado de las sustancias explotadas.
- Nivel de las tecnologías disponibles.
- Condiciones de infraestructura física y minera.

Existe otro orden de factores, que tocan los aspectos técnico y empresarial, que influyen en la valoración de un yacimiento puesto que de ellos depende el éxito del proyecto minero en él establecido: ellos son:

- Reconocimiento suficiente de las reservas.
- Adecuada producción anual.

- Métodos idóneos de explotación y beneficio.
- Financiación medida y manejable.

Por lo tanto, la valoración de un yacimiento implica la de los futuros beneficios, ya que como los de cualquier otro tipo de negocio se tratan como una diferencia de ingresos y costos, los que deben ser previstos y calculados año por año durante la vida útil de la explotación. A partir del valor global del yacimiento, normalmente se fijan las condiciones para una futura negociación, transmisión de derechos: reparto de beneficios, entre otros.

3.4. Definición de variables

De manera esquemática se va a mostrar la metodología (Azcárate, 1982) para determinar el valor comercial del yacimiento (V_y).

Las ganancias de una empresa minera provienen, en cuanto a inversiones productivas se refiere, de la suma de la inversión total, I , y del V_y ; ambos en consecuencia participan de los resultados o flujos de caja anuales, F , cuya expresión general es:

$$F = E - \sum \text{Costos} - T - J \quad (12)$$

En donde:

E: ingresos por ventas en el año

Σ : costos: costos de operación + costos generales

T: impuestos

J: inversión (reversión)

Se tiene para el año i :

$$F_i(1+p)^{n-i} \quad (13)$$

Siendo p : nivel general del costo del dinero

En el mismo sentido, la riqueza global aportada por el proyecto (G_t) viene dada por la siguiente ecuación:

$$Gt = \sum_{i=1}^n Fi(1+p)^{n-i} \quad (14)$$

Como tales ganancias provienen del ingreso (I) y del valor del yacimiento (Vy), entonces:

$$Gt = \sum_{i=1}^n Fi(1+p)^{n-i} = (I + Vy) * (1+p) \quad (15)$$

Si se transfiere el valor de Gt al instante de la producción inicial, n años antes, queda el valor *a priori*, del negocio minero, VM, definido por la siguiente ecuación:

$$VM = Gt * (1+p)^{-n} = \sum_{i=1}^n Fi(1+p)^{-i} = I + Vy \quad (16)$$

Despejando el valor del yacimiento (Vy) de la ecuación (15) y expresándola con exponentes positivos, se tiene:

$$Vy = -I + \sum_{i=1}^n Fi(1+p)^{-i} = -I + \sum_{i=1}^n \frac{Fi}{(1+p)^i} \quad (17)$$

En donde el valor de un yacimiento (Vy) sujeto a una explotación minera cuyos flujos de caja anuales fuesen constantes en el tiempo, tendría en el momento de realizar o acometer la extracción la siguiente expresión:

$$Vy = -I + [(1-K)(E-C) + K(Am + Ag + Cf) - J] * \sum_{i=1}^n Fi(1-p)^{-i} \quad (18)$$

De la ecuación 18, se tiene:

- Vy: Valor del yacimiento
- I: Inversión total del negocio minero
- K: Porcentaje fiscal del beneficio neto
- E: Ingresos anuales
- C: Costos anuales (tanto directos como indirectos)
- Am: Amortización anual
- Ag: Fondo de agotamiento, para amortización del yacimiento
- Cf: Cargas financieras anuales
- J: Reinversión anual
- p: Tasa de actualización o tasa de descuento
- n: Vida de la explotación minera

A continuación se utiliza la ecuación 18, en donde se muestra de una manera aproximada la utilidad del modelo definido. En la Tabla 1 se indican los valores y las relaciones paramétricas para tres tipos de yacimientos, que en el fondo corresponden a la misma explotación, pero cuyo escenario hace parte de variables exógenas al yacimiento como lo pueden ser entre otras, legislación, tasa de descuento, nivel de impuestos, cambio tecnológico...

Tabla 1. Valores y relaciones paramétricas para tres tipos de yacimientos.

| Modelo de explotación minera | | | |
|-------------------------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| Variable | Escenario Optimista | Escenario Normal | Escenario Pesimista |
| I | 2E | 2E | 2E |
| C | 0.5E | 0.5E | 0.5E |
| K | 0.33 | 0.4 | 0.5 |
| Am | 1/20 | 1/15 | 1/10 |
| n | 20 años | 15 años | 10 años |
| p | 12% | 15% | 20% |
| $\sum_{i=1}^n (1-p)^{-i}$ | 7.469 | 5.847 | 4.192 |
| Cf | 0 | 0 | 0 |
| J | 0 | 0 | 0 |

El valor de Ag se encuentra en función de alguna de las tres variables siguientes:

- a. Como el porcentaje de los ingresos, es decir, $Ag = \alpha \cdot E$
- b. Como el porcentaje del beneficio neto, es decir, $Ag = \beta(E - C)$
- c. Como amortización lineal del valor del yacimiento, es decir, $Ag = \gamma \cdot Vy/n$

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede decir que α , β y γ , poseen valores fijos tal como se definen a continuación: $\alpha = 0.075$; $\beta = 0.30$ y $\gamma = 1$ (Azcárate, 1982).

Después de las sustituciones realizadas en la ecuación 18, el valor del yacimiento, V_y , se encuentra expresado como una función lineal entre la inversión (I) y los ingresos anuales (E), tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Valor del yacimiento expresado en términos de la inversión (I) y los ingresos anuales (E)

| Valor del yacimiento | | | |
|----------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| Ag | Escenario Optimista | Escenario Normal | Escenario Pesimista |
| $\alpha = 0.075$ | $-0.75I + 2.68E$ | $-0.73I + 1.93E$ | $-0.69I + 1.21E$ |
| $\beta = 0.30$ | $-0.81I + 2.78E$ | $-0.79I + 2.02E$ | $-0.76I + 1.29E$ |
| $\gamma = 1$ | $-0.80I + 2.84E$ | $-0.86I + 2.07E$ | $-0.88I + 1.33E$ |

Fuente: AZCÁRATE (1982)

Para el escenario optimista los valores de V_y se encuentran en el intervalo:

$$1.1E \leq V_y \leq 1.24E$$

De igual forma para el escenario normal los valores de V_y hallados se encuentran en el intervalo:

$$0.24E \leq V_y \leq 0.47E$$

El escenario pesimista presenta valores de V_y en el intervalo:

$$-0.17E \leq V_y \leq -0.33E$$

Si se considera que las duraciones de acuerdo con la experiencia de un proyecto minero son en promedio del orden de 15 años, el papel predominante de las amortizaciones y el agotamiento en minería como garantías de continuidad y considerando tasas de actualización entre el 12% y el 20%, se deduce que el orden de magnitud de V_y es de décimas o pocas veces el valor de la producción media anual, E.

Hasta aquí se presenta la propuesta metodológica de valoración económica de recursos minerales, como un aporte teórico – conceptual de la misma. Con la definición de esta

propuesta e da respuesta al objetivo general y a dos de los objetivos específicos inicialmente planteados en este trabajo de investigación.

En el siguiente capítulo, se mostrará de una manera más detallada y teniendo en cuenta las condiciones sociales, políticas, económicas, legales, ambientales, fiscales y técnicas propias de Colombia, la propuesta metodológica aquí realizada, mediante la aplicación práctica y técnica de yacimientos de carbón y depósitos de calizas. En el capítulo 4, se pretende dar respuesta al tercer objetivo específico de este trabajo de investigación.

Referencias bibliográficas

AZCÁRATE M., J. F. (1982), *Introducción a la metodología de la investigación minera*. Adosa, Madrid.

COLORADO SCHOOL OF MINES. (1975), *Técnicas de evaluación económica para proyectos de inversión minera*.

DASGUPTA, P. ET AL. (1975), *Guidelines for project evaluation*. Unido, Viena, Austria.

ITGE. (1991), *Manual de evaluación técnico - económica de proyectos mineros de inversión*. Madrid.

LANE, KENNETH F. (1988), *The economic definition of ore*. London.

NAREDO, J.M., FERRE, P. (1993), *Hacia una ciencia de los recursos naturales*. Ed Siglo XXI,

PNUM. (1987), *Informe: Nuestro futuro común*, de la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo

POSADA, LUIS Y VARGAS, ELKIN. (1997), *Desarrollo económico sostenible, relaciones internacionales y recursos minero –energéticos*. Universidad Nacional de Colombia.

RUNGE. IAN. (1998), *Mining economics and strategy*. SME, Littleton, USA

SÁNCHEZ A., J. (1995), *Economía y contabilidad ambiental* Revista del postgrado en planeación urbano regional No. 42 Universidad Nacional Medellín

SMITH, A. (1776), *An inquiry into the natural and causes of the wealth of nations*. Edited by R.H Capbell and AS. Skinner. Oxford University Press. Oxford, England, citado por Runge, Ian C. (1998), *Mining economics and strategy*. SME. Littleton, USA.

TORRIES, T. (1998), *Evaluating mineral projects: applications and misconceptions*. SME Littleton, USA.

TURNER Y PEARCE. (1995), citados por Bateman, Ian en el capítulo 3 de *Environmental Science for Environmental Management*. Editado por Timothy O'Riordan, New York.

VARGAS, ELKÍN. (2001), *Minería, medio ambiente y desarrollo*. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

4. Caso de estudio. Aplicación en yacimientos de carbón y depósitos de calizas

4.1. *El sector minero colombiano*

Son tres variables competitivas (la potencialidad en recursos, su ubicación geográfica y el ingreso de una minería del carbón altamente tecnificada) en el sector minero colombiano que en los últimos diez años lo han fortalecido y ha adquirido mayor participación en la economía del país. Al mismo tiempo variables relacionadas con reformas en la legislación minera nacional (Código de Minas, Ley 685 de 2001); crecimiento sostenido en la extracción del carbón y ferro níquel; aumento en la participación porcentual en las exportaciones nacionales y adecuación del sistema de información minero colombiano (SIMCO); contribuyeron en la última década al “resurgimiento” del sector minero colombiano.

Dentro de la economía nacional, se consideran representativos siete grupos de minerales según su volumen, valor de extracción y generación de empleo:

- I.** Minerales metálicos
- II.** Piedras preciosas
- III.** Metales básicos
- IV.** Metales de la industria del acero
- V.** Materiales industriales
- VI.** Materiales energéticos
- VII.** Materiales de la construcción.

Los minerales que se destacan son: carbón, oro, plata, metales del grupo del platino, esmeraldas, calizas, arcillas, agregados pétreos, níquel y hierro.

4.2. Reservas y Extracción

4.2.1. Carbón

a. Reservas nacionales

En el ámbito latinoamericano, Colombia ocupa el primer lugar con el 40% de las reservas de carbón. A nivel continental, Colombia es superada por Estados Unidos y Canadá, en ese orden. A pesar de lo anterior, su participación en el contexto mundial es reducida (0.6% del total).

Las reservas nacionales de carbón se encuentran distribuidas en las tres cordilleras, y se localizan en la Costa Pacífica, el interior del país y en la Costa Atlántica. El país posee un buen conocimiento geológico del recurso carbonífero en ocho cuencas distribuidas geográficamente: Antioquia, Cesar, Córdoba, Cundinamarca-Boyacá, Guajira, Norte de Santander, Santander, y Valle del Cauca-Cauca.

En el país se encuentran principalmente dos tipos de carbones: los térmicos y los coquizables o metalúrgicos. A partir de estos últimos se puede producir coque, un producto proveniente del carbón o del petróleo, que se utiliza en los altos hornos para producción de hierro; los carbones térmicos se utilizan principalmente como combustible en la producción de vapor y generación de energía.

La participación del carbón térmico en las exportaciones del país ha sido sensiblemente mayor en relación con la del carbón metalúrgico, teniendo en cuenta las ventajas comparativas en cuanto a reservas, localización geográfica de los yacimientos e infraestructura de transporte y exportación asociada a los proyectos.

Las reservas de carbón a diciembre de 2000 fueron de 6.655 millones de toneladas en la categoría de medidas y de 2.932 millones de toneladas en la categoría de indicadas. Del total de reservas medidas e indicadas el 70.1% se localizan en la Costa Atlántica y el 29.9% en los departamentos del interior del país. En la Tabla 3 se aprecian las reservas medidas e indicadas de los carbones colombianos por zonas geográficas y por tipo de carbón para el año 2000

Tabla 3. Reservas medidas e indicadas de carbón por zonas y por tipo de carbón, 2000

| Departamento | Reservas Medidas | Reservas Indicadas | Tipo de carbón |
|-------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| | en millones de toneladas | en millones de toneladas | |
| Guajira | 3648 | | Térmico |
| Cesar | 1922 | 589,0 | Térmico |
| Córdoba | 381,0 | 257,0 | Térmico |
| Norte de Santander | 116 | 315 | Térmico |
| Santander | 57 | 114 | Térmico - Coquizable |
| Cundinamarca y Boyacá | 406 | 1343 | Térmico - Coquizable |
| Antioquia | 89 | 225 | Térmico - Coquizable |
| Valle del Cauca y Cauca | 36 | 89 | Térmico |
| TOTAL | 6655 | 2932 | |

Fuente: Minercol Ltda., 2001

b. Extracción nacional de carbón 2000 - 2004

Entre los años 2000 al 2004, la extracción nacional de carbón se ha incrementado a una tasa anual promedio del 8.3%. La calidad del carbón colombiano y su competitividad en el mercado mundial le han permitido a las empresas mineras colocar los volúmenes de exportación previstos, permitiendo que el carbón sea el segundo producto de mayor importancia en las exportaciones del país, después del petróleo, proyectándose como un ítem de peso dentro de la balanza comercial nacional. La producción de carbón para consumo doméstico (regiones carboníferas del interior del país) ha venido decreciendo a una tasa del 7% anual durante el periodo analizado, como consecuencia de la contracción en la demanda interna del energético (sector industrial).

4.2.2. Calizas

a. Reservas nacionales

En Colombia existen numerosos depósitos de calizas. Los depósitos con mejor evaluación son los que abastecen las fábricas de cemento. En la Tabla 4 se presenta un informe de

reservas de caliza discriminado por departamentos. Las plantas cementeras del país cuentan con yacimientos locales que las abastecen; la única excepción es la fábrica de Cementos Samper (Bogotá) que adquiere calizas de mejor calidad de los yacimientos del departamento de Boyacá (Valle de Sogamoso y Moniquirá) para efectuar mezclas.

La mayoría de las explotaciones de caliza en el país se desarrollan a cielo abierto, con diferencias según la magnitud de las operaciones, el grado de mecanización y los procesos utilizados para la transformación; las explotaciones subterráneas se han implementado en yacimientos calcáreos de Cementos Paz de Río (Boyacá) y Cementos El Cairo (Antioquia).

La caliza explotada en Colombia se utiliza además de la industria del cemento en la fundición de hierro y acero; para la producción de carbonatos en la industria del papel; en la fabricación del vidrio, soda cáustica, curtimbres y en abonos o como cal agrícola para corregir la acidez y como roca de ornamentación en la industria de la construcción.

Tabla 4. Reservas Medidas de Caliza por zonas geográficas para Colombia, 1996

| DEPARTAMENTO | RESERVAS | DEPARTAMENTO | RESERVAS |
|--------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| | MEDIDAS EN MILES DE TONELADAS | | MEDIDAS EN MILES DE TONELADAS |
| ANTIOQUIA | 281.218 | MAGDALENA | 5.900 |
| ATLÁNTICO | 112.026 | NORTE DE SANTANDER | 12.822 |
| BOLÍVAR | 631.675 | PUTUMAYO | 56 |
| BOYACÁ | 17.015 | RISARALDA | 4 |
| CALDAS | 8.957 | SANTANDER | 37.772 |
| CAUCA | 456 | SUCRE | 2.326 |
| CÓRDOBA | 140 | TOLIMA | 17.336 |
| CUNDINAMARCA | 118.071 | VALLE | 38.439 |
| GUAJIRA | 218 | | |
| HUILA | 19.371 | TOTAL | 1.303.803 |

Fuente: UPME. Balance minero nacional, 2004

b. Extracción nacional de calizas 2000 - 2004

Entre los años 2000 al 2004, la extracción nacional de calizas se ha incrementado a una tasa anual promedio del 14.7%. En el último año, el crecimiento fue del 5.5% pasando de 16389 millones de toneladas en 2003 a 17267 millones de toneladas en el 2004, como consecuencia de una mayor dinámica en el sector de la construcción.

4.3. Valoración económica de los yacimientos

Teniendo en cuenta la ecuación 18 y definiendo con base en las características propias del sector minero colombiano las diferentes variables que intervienen en dicha ecuación, se muestra a continuación, tanto para yacimientos de carbón como depósitos de caliza, la aplicación y aproximación práctica y técnica al valor económico de dichos yacimientos. Tal como se demostró anteriormente y luego de las sustituciones realizadas, el valor del yacimiento se encuentra expresado como una función lineal entre la inversión (I) y los ingresos anuales (E).

Dadas entre otras, las condiciones de orden público nacional, ya que, en particular en aquellas zonas donde se desarrollan actividades extractivas mineras, se presentan constantemente conflictos de orden público, limitando el normal desarrollo de las actividades extractivas y de beneficio, se hace necesario en la ecuación 18 en los beneficios anuales, agregar un costo asociado a seguridad física (Ms), que puede ser del orden de $0.01E \leq Ms \leq 0.03E$. EL valor del yacimiento (Vy) queda entonces expresado en la ecuación 19, como:

$$V_y = -I + [(1 - K)(E - C - Ms) + K(Am + Ag + Cf) - J] * \sum_{i=1}^n Fi(1 - p)^{-i} \quad (19)$$

La ecuación 19 da cuenta del valor del yacimiento (Vy) en términos generales para los recursos minerales de Colombia. A continuación se utilizará la ecuación 19 para encontrar en forma agregada el valor de los yacimientos de carbón y depósitos de calizas, respectivamente.

4.3.1. Yacimientos de Carbón

Teniendo como marco de referencia la ecuación 19 se definen en la Tabla 5 los valores y relaciones paramétricas asociados los yacimientos de carbón bajo los escenarios optimista, normal y pesimista.

Tabla 5. Valores y relaciones paramétricas para yacimientos de carbón

| Variable | Escenario Optimista | Escenario Normal | Escenario Pesimista |
|---------------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| I | 2E | 2E | 2E |
| C | 0.4E | 0.4E | 0.4E |
| K | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
| Am | I/20 | I/15 | I/10 |
| n | 20 años | 15 años | 10 años |
| p | 12% | 15% | 20% |
| $\sum_{i=1}^n (1-p)^{-i}$ | 7.469 | 5.847 | 4.192 |
| Cf | 0 | 0 | 0 |
| J | 0 | 0 | 0 |
| Ag ($\alpha = 0.075$) | 0.075E | 0.075E | 0.075E |
| Ms | 0.02E | 0.02E | 0.02E |

Sustituyendo en la ecuación 19 los valores y relaciones paramétricas para yacimientos de carbón presentados en la Tabla 5 y realizando las operaciones indicadas, se tiene que para un escenario optimista el valor del yacimiento, **Vy = 1.42E**; para un escenario normal el valor del yacimiento, **Vy = 0.52E**; y el valor del yacimiento para un escenario pesimista, **Vy = - 0.20E**.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores de los valores del yacimiento para los diferentes escenarios planteados, se llevan a cabo las simulaciones correspondientes para encontrar los diferentes valores de los yacimientos carboníferos en Colombia entre el periodo 2000 – 2010. La Tabla 6 contiene los valores y las diferentes proyecciones realizadas.

Tabla 6. Valores y proyecciones de los yacimientos carboníferos en Colombia para el periodo 2000 - 2010

| Año | Extracción de Carbón* Miles de toneladas | Precio base** US\$ / Tonelada | Ingresos Anuales Millones de dólares | Escenario optimista, | Escenario normal, | Escenario pesimista, |
|------|---|----------------------------------|---|--|---|---|
| | | | | valor del yacimiento, Millones de dólares | valor del yacimiento Millones de dólares | valor del yacimiento Millones de dólares |
| 2000 | 38242 | 17,4 | 667,15 | 947,35 | 346,92 | -133,43 |
| 2001 | 43911 | 15,8 | 695,40 | 987,47 | 361,61 | -139,08 |
| 2002 | 39484 | 16,5 | 650,89 | 924,27 | 338,47 | -130,18 |
| 2003 | 50028 | 16,2 | 811,08 | 1151,73 | 421,76 | -162,22 |
| 2004 | 49248 | 23,0 | 1133,17 | 1609,09 | 589,25 | -226,63 |
| 2005 | 52621 | 22,0 | 1159,82 | 1646,94 | 603,11 | -231,96 |
| 2006 | 55434 | 22,8 | 1262,09 | 1792,16 | 656,29 | -252,42 |
| 2007 | 58247 | 23,4 | 1363,82 | 1936,62 | 709,19 | -272,76 |
| 2008 | 61060 | 24,0 | 1465,11 | 2080,46 | 761,86 | -293,02 |
| 2009 | 63873 | 24,5 | 1566,01 | 2223,73 | 814,32 | -313,20 |
| 2010 | 66686 | 25,0 | 1666,57 | 2366,52 | 866,61 | -333,31 |

Fuente: Elaboración propia

(*): Las proyecciones de extracción se realizaron con base en los datos de históricos de extracción (entre los años 1998 y 2004) y teniendo en cuenta modelos lineales. Para yacimientos carboníferos se utilizó el siguiente modelo: $Ex = 2812.9t + 35744$, con un $R^2 = 0,6747$. El valor de la constante de 35,744 millones de toneladas de carbón, nos da cuenta de los niveles de extracción al inicio de este ejercicio de simulación.

En donde:

Ex: Extracción anual de carbón en miles de toneladas.

t: tiempo en años

R^2 : Coeficiente de correlación lineal.

(**): Las proyecciones de los precios base se realizaron con base en los datos históricos (del año 2000 al 2004) de las diferentes resoluciones ministeriales y teniendo en cuenta modelos lineales. Para yacimientos carboníferos se utilizó el siguiente modelo: $P_b = 6019,3t + 26378$, con un $R^2 = 0,8399$. El valor de la constante de 26378 pesos por tonelada de carbón, nos da cuenta del nivel del precio base para la liquidación de regalías al inicio de este ejercicio de simulación.

En donde:

P_b : Precio base de liquidación de regalías, en pesos por tonelada.

t: tiempo en años.

R^2 : Coeficiente de correlación lineal

Los resultados hallados en la Tabla 6 pueden servir como referencia a las entidades estatales para futuras negociaciones de los recursos minerales del país. En la figura 2 se muestra el comportamiento de los valores de V_y para yacimientos de carbón en los tres escenarios simulados.

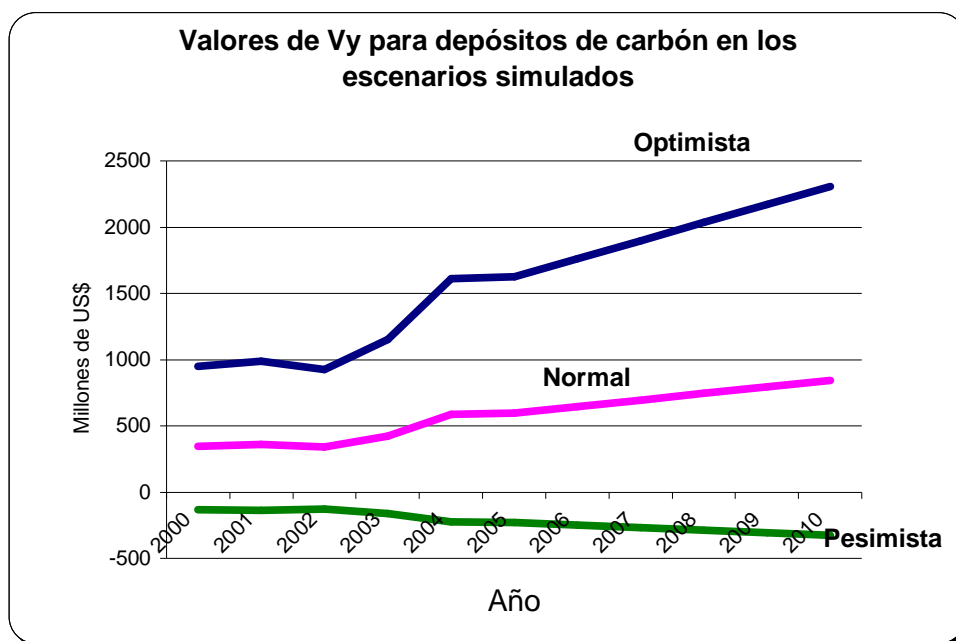


Figura 2: Valores de V_y para depósitos de carbón en los escenarios simulados

4.3.2. *Depósitos de Calizas*

Los valores y relaciones paramétricas asociados los depósitos de calizas se definen a continuación en la Tabla 7, teniendo en cuenta los escenarios optimista, normal y pesimista.

Tabla 7. Valores y relaciones paramétricas para depósitos de calizas

| Variable | Escenario Optimista | Escenario Normal | Escenario Pesimista |
|---------------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| I | 2E | 2E | 2E |
| C | 0.5E | 0.5E | 0.5E |
| K | 0.2 | 0.3 | 0.4 |
| Am | I/20 | I/15 | I/10 |
| n | 20 años | 15 años | 10 años |
| p | 12% | 15% | 20% |
| $\sum_{i=1}^n (1-p)^{-i}$ | 7.469 | 5.847 | 4.192 |
| Cf | 0 | 0 | 0 |
| J | 0 | 0 | 0 |
| Ag ($\alpha = 0.075$) | 0.075E | 0.075E | 0.075E |
| Ms | 0.02E | 0.02E | 0.02E |

Fuente: Elaboración propia

Sustituyendo en la ecuación 19 los valores y relaciones paramétricas para yacimientos de calizas presentados en la Tabla 7 y realizando las operaciones indicadas, se tiene que para un escenario optimista el valor del yacimiento, $Vy = 1.03E$; para un escenario normal el valor del yacimiento, $Vy = 0.33E$; y el valor del yacimiento para un escenario pesimista, $Vy = -0.33E$.

Teniendo en cuenta los anteriores resultados para los valores de los depósitos de calizas, se llevan a cabo las simulaciones correspondientes para encontrar los diferentes valores de los depósitos de calizas en Colombia entre el periodo 2000 – 2010. La Tabla 8 contiene los valores y las diferentes proyecciones realizadas.

Tabla 8. Valores y proyecciones de los depósitos de calizas en Colombia para el periodo 2000 - 2010

| Año | Extracción de Calizas* Miles de toneladas | Precio base** US\$ / Tonelada | Ingresos Anuales Millones de dólares | Escenario optimista, valor del yacimiento, Millones de dólares | Escenario normal, valor del yacimiento Millones de dólares | Escenario pesimista, valor del yacimiento Millones de dólares |
|------------|---|---|--|--|--|---|
| 2000 | 11987 | 2,8 | 34 | 35 | 11 | -11 |
| 2001 | 11475 | 2,5 | 29 | 30 | 10 | -10 |
| 2002 | 14865 | 2,5 | 38 | 39 | 12 | -12 |
| 2003 | 16389 | 1,7 | 28 | 28 | 9 | -9 |
| 2004 | 17267 | 1,9 | 34 | 35 | 11 | -11 |
| 2005 | 18646 | 1,9 | 36 | 37 | 12 | -12 |
| 2006 | 20025 | 2,0 | 39 | 41 | 13 | -13 |
| 2007 | 21404 | 2,1 | 44 | 46 | 15 | -15 |
| 2008 | 22783 | 2,2 | 51 | 52 | 17 | -17 |
| 2009 | 24162 | 2,4 | 58 | 60 | 19 | -19 |
| 2010 | 25541 | 2,6 | 68 | 70 | 22 | -22 |

Fuente: Elaboración propia

(*): Las proyecciones de extracción se realizaron con base en los datos históricos de extracción (entre los años 1995 y 2004) y teniendo en cuenta modelos lineales.

Para depósitos de calizas se utilizó el siguiente modelo:

$$\text{Exc} = 1379t + 2097.8, \text{ con un } R^2 = 0,845.$$

En donde:

Exc: Extracción anual de calizas en miles de toneladas.

t: tiempo en años.

R²: Coeficiente de correlación.

(**): Las proyecciones de los precios base se realizaron con base en los datos históricos (del año 1995 al 2004) de las diferentes resoluciones ministeriales y teniendo en cuenta modelos cuadráticos.

Para depósitos de caliza se utilizó el siguiente modelo:

$$Pbr = 97,82t^2 - 793,98t + 6692.1; \text{ con un } R^2 = 0,6645.$$

En donde:

Pbr: Precio base de liquidación de regalías, en pesos por tonelada.

t: tiempo en años.

R²: Coeficiente de correlación.

Los resultados hallados en la Tabla 8 pueden servir como referencia a las entidades estatales para futuras negociaciones de los recursos minerales del país. En la figura 3 se muestra el comportamiento de los valores de Vy para yacimientos de calizas en los tres escenarios simulados.

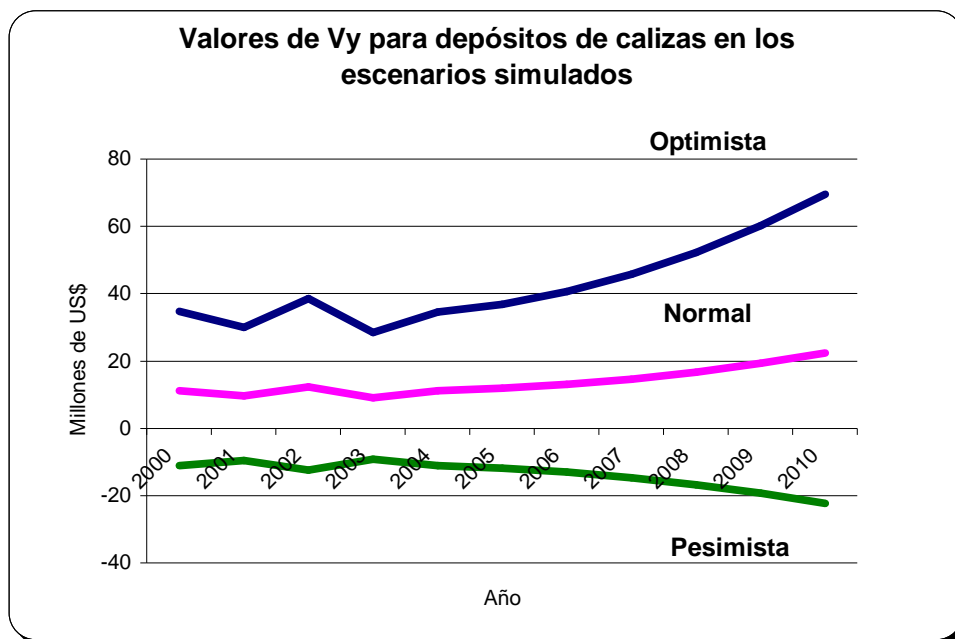


Figura 3: Valores de V_y para depósitos de calizas en los escenarios simulados

La aplicación práctica técnica para hallar el valor de los yacimientos de carbón y los depósitos de caliza en Colombia llevada a cabo en este trabajo, es una aproximación que puede servir a las entidades estatales encargadas de la gestión, planeación, regulación y control del sector minero colombiano a futuras negociaciones con inversionistas nacionales o extranjeros.

Referencias Bibliográficas

AZCÁRATE M., J. F. (1982), *Introducción a la metodología de la investigación minera*. Adosa, Madrid

COMISIÓN NACIONAL DE REGALÍAS. (1994), *Ley 141, Capítulo III, Régimen de Regalías y Compensaciones Generadas por la Explotación de Recursos Naturales no Renovables. Artículo 16*. Bogotá

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN – DNP, Unidad de Infraestructura y Energía. (2000), *Sector Minero, documento sectorial*. Bogotá

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA – INGEOMINAS. (2004), *El carbón colombiano: recursos, reservas y calidad*. Bogotá

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. (2004), *Memorias al Congreso de la República 2003 – 2004, anexo minas*. Bogotá.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME. (2005), *Boletín Estadístico de Minas y Energía 1994 – 2004*. Bogotá

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME. (2004), *Resolución 0764 de 2004*. Bogotá

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME. (2004), *Precios en boca mina base para la liquidación de regalías*. Bogotá

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME. (2001), *Balance minero energético 1990 – 2000*. Bogotá

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME. (2001), *Competitividad del sector minero colombiano*. Bogotá

Conclusiones

- a. En éste trabajo se da un paso en el proceso de construcción de una estructura que permita hacer cuentas monetarias de los recursos minerales. Los resultados cuantitativos obtenidos son mejorables en la medida que se disponga de mejor información para la aplicación del marco teórico, sin embargo queda la propuesta metodológica que es aplicable tanto a nivel local como regional y actualizable de acuerdo con los avances en las eficiencias (técnicas y tecnológicas) de explotación y transformación de los recursos carboníferos.
- b. La aplicación práctica y técnica para hallar el valor de los yacimientos de carbón y de calizas en Colombia llevada a cabo en este trabajo, es, es una aproximación que puede servir a las entidades encargadas de la gestión, planeación, regulación y control del sector minero colombiano, a futuras negociaciones con inversionistas nacionales o extranjeros.
- c. Con el objetivo de mejorar e ir acercándose continuamente a la realidad del sector minero colombiano, para futuros trabajos se hace necesario llevar a cabo aproximaciones teóricas menos agregadas que tengan en cuenta por un lado los tipos de carbón que se extraen en Colombia y por otro lado los depósitos de calizas, es decir, llevar a cabo valoraciones tanto de los carbones metalúrgicos como de los carbones térmicos.
- d. Teniendo en cuenta el punto anterior, es válido a mismo tiempo, realizar valoraciones económicas de los recursos carboníferos y calcáreos en el ámbito departamental.
- e. Con los resultados hallados de los valores históricos y proyecciones de los yacimientos carboníferos y depósitos de calizas en Colombia para el periodo 2000 – 2010, en los tres escenarios, es evidente que al mejorar las condiciones de la

plataforma fiscal para el escenario pesimista, la aproximación a la valoración económica de estos yacimientos carboníferos mejoraría sustancialmente para que las entidades estatales encargadas de realizar futuras negociaciones con inversionistas de carácter privado (nacionales o internacionales), tengan en cuenta los valores aquí encontrados y por ende, las negociaciones sean lo menos perjudicial para el propietario de los recursos del subsuelo.

- f. Este trabajo de investigación puede servir de base para permitir en un futuro cercano realizar una propuesta de investigación dentro de un programa de doctorado.

Bibliografía

- AGUILERA F Y ALCÁNTARA V. (1994), *De la Economía ambiental a la economía ecológica*. Icaria: fuhem.
- ÁLVAREZ, CARLOS G. (1988), “*La culminación de la renta: Ricardo*”. *Renta y geopolítica de la energía*. Autores Antioqueños. Medellín: Secretaría de Educación y Cultura.
- ÁLVAREZ, CARLOS G. (2000), *Economía y Política Petrolera*. Comisión de Derechos Humanos y Paz. USO – ECOPEPETROL. Bogotá.
- ANDERSON, JAMES. (1986), *Investigación sobre la naturaleza de las leyes de granos con una opinión sobre la nueva ley de trigos propuesta para Escocia*. Extracto traducido por Carlos Guillermo Álvarez. Ciencias Humanas, No. 9. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- AZCÁRATE M., J. F. (1982), *Introducción a la metodología de la investigación minera*. Adosa, Madrid.
- AZQUETA D Y FERREIRO A. (1994), *Análisis Económico y Gestión de Recursos Naturales*. Alianza editorial. Madrid.
- BERRÍO, RAMÓN. (1997), *Economía ¿ecológica?* Universidad Nacional, sede Medellín
- COLORADO SCHOOL OF MINES. (1975), *Técnicas de evaluación económica para proyectos de inversión minera*.

- COMISIÓN NACIONAL DE REGALÍAS. (1994), *Ley 141, Capítulo III, Régimen de Regalías y Compensaciones Generadas por la Explotación de Recursos Naturales no Renovables. Artículo 16.* Bogotá
- DALY, HERMAN. (1997), *Georgescu – Roegen Vs. Solow.* En: *Economía ¿ecológica?* Universidad Nacional.
- DASGUPTA, P. ET AL. (1975), *Guidelines for project evaluation.* Unido, Viena, Austria.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN – DNP, Unidad de Infraestructura y Energía. (2000), *Sector Minero, documento sectorial.* Bogotá
- FRANCO G Y MOLINA J. (2001), *Hechos significativos, tendencias y aspectos de los minerales para el periodo 1995 – 2005.* En: *Revista Escenarios y Estrategias* N° 8.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA – INGEOMINAS. (2004), *El carbón colombiano: recursos, reservas y calidad.* Bogotá
- ITGE. (1991), *Manual de evaluación técnico - económica de proyectos mineros de inversión.* Madrid.
- LANE, KENNETH F. (1988), *The economic definition of ore.* London.
- MARTÍNEZ ALIER Y ROCA JUSMET. (2003), *Economía Ecológica y Política Ambiental.* Fondo de Cultura Económica. México
- MARTÍNEZ ALIER Y ROCA JUSMET. (2003), *Economía Ecológica y Política Ambiental.* Fondo de Cultura Económica. México.
- MARTÍNEZ ALIER. (1998), *Curso de economía ecológica.* PNUMA
- MEADOWS M ET AL. (1972), *Los Límites del Crecimiento: Informe al Club de Roma*

- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. (2004), *Memorias al Congreso de la República 2003 – 2004, anexo minas*. Bogotá.
- NAREDO, J.M., FERRE, P. (1993), *Hacia una ciencia de los recursos naturales*. Ed Siglo XXI.
- PEARCE D Y TURNER K. (1995), *Economía de los recursos naturales y del medio ambiente*. Celeste Ediciones.
- PNUM. (1987), *Informe: Nuestro futuro común, de la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo*.
- POSADA, LUIS Y VARGAS, ELKIN. (1997), *Desarrollo económico sostenible, relaciones internacionales y recursos minero –energéticos*. Universidad Nacional de Colombia.
- ROMERO, CARLOS. (1997), *Economía de los recursos ambientales y naturales*. Alianza editorial, Madrid.
- RUNGE. IAN. (1998), *Mining economics and strategy*. SME, Littleton, USA
- SAMUELSON, PAUL A. (1968), *Curso de economía moderna*. Decimosexta edición. Madrid: Aguilar,. Parte 4: Distribución de la renta. Cáp. 25: Teoría de la producción y de la productividad marginal, pp. 593-609.
- SÁNCHEZ A., J. (1995), *Economía y contabilidad ambiental* Revista del postgrado en planeación urbano regional No. 42 Universidad Nacional Medellín
- SMITH, A. (1776), *An inquiry into the natural and causes of the wealth of nations*. Edited by R.H Capbell and AS. Skinner. Oxford University Press. Oxford, England, citado por Runge, Ian C. (1998), *Mining economics and strategy*. SMF. Littleton, USA.
- SOLOW, ROBERT. (1974), *La Economía de los Recursos o los Recursos de la Economía*.

- TORRIES, T. (1998), *Evaluating mineral projects: applications and misconceptions*. SME Littleton, USA.
- TURNER Y PEARCE. (1995), citados *Environmental Science for Environmental Managment*. Editado por Timothy O'Riordan, New York.
- UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME. (2001), *Balance minero energético 1990 – 2000*. Bogotá
- UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME. (2001), *Competitividad del sector minero colombiano*. Bogotá
- UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME. (2004), *Precios en boca mina base para la liquidación de regalías*. Bogotá
- UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME. (2004), *Resolución 0764 de 2004*. Bogotá
- UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME. (2005), *Boletín Estadístico de Minas y Energía 1994 – 2004*. Bogotá
- VARGAS, ELKÍN. (2001), *Minería, medio ambiente y desarrollo*. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.