

INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD Y SU APLICACIÓN A LAS EMPRESAS MINERAS

Elkin Vargas Pimienta

Profesor Asociado, Facultad de Minas

Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín

Introducción

El desarrollo económico sostenible, el control ambiental de la actividad económica y el desempeño social de las empresas han sido temas de creciente importancia durante los últimos años en todo el mundo y particularmente en Colombia donde a partir de la Constitución Política de 1991 se estipuló que el Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Se estableció además que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano y que la ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarla. Para verificar el cumplimiento efectivo de tales mandatos constitucionales, se hace necesario contar con instrumentos contables que proporcionen información resumida, concisa e ilustrativa para aplicar en la gestión empresarial, la planificación sectorial y el control institucional y social de las diferentes actividades económicas.

En este trabajo se pretende mostrar que el diseño de indicadores de sostenibilidad y de desempeño ambiental y social aplicables a la industria extractiva contribuye al logro de metas de desarrollo sostenible. Ello es especialmente útil en un país en desarrollo como Colombia, que ha adoptado tal modelo de desarrollo económico y donde el sector minero, que se proyecta como el sector líder de las exportaciones y de la economía nacional, ha sido responsable de un gran deterioro ambiental y de importantes conflictos de orden social. La minería es esencialmente un proceso destructivo por lo que puede ocasionar impactos ambientales y sociales negativos; los que dependen del tamaño de las operaciones, del tipo de depósito mineral, de los métodos de explotación utilizados y de las condiciones topográficas y

climáticas de los lugares donde se realiza. Los diferentes tipos de depósitos geológicos difieren ampliamente con la naturaleza y composición de los minerales que contienen y por tal razón son variados los efectos ambientales de su extracción y utilización. De otro lado agota las reservas en los yacimientos minerales. Cuando esto ocurre deja a comunidades enteras sin empleo y a los entes territoriales sin regalías creando escasez de recursos para la sociedad; además, en la estructuración y ejecución de los proyectos mineros se suelen generar grandes centros de poder no participativos y con intereses transnacionales.

Es recomendable entonces que la industria minera adopte la filosofía de la sostenibilidad como objetivo principal para su planeamiento estratégico.

Este trabajo da cuenta de la existencia de técnicas y metodologías que sirven para conformar juegos integrados de indicadores biofísicos, económicos y sociales, incluyendo los indicadores convencionales del proceso minero: insumo-producto, capacitación, bienestar y participación, para ser utilizados en la evaluación y optimización del desempeño socioambiental de las compañías mineras, en sus análisis costo-beneficio y en la toma de sus decisiones estratégicas, planeamiento participativo y seguimientos de avance.

Además se formulan juegos integrados de indicadores de sostenibilidad y de desempeño socioambiental de algunas empresas mineras en Colombia para ser aplicados por rangos de usuarios en los principales procesos de exploración, explotación y procesamiento de minerales, en el marco de las condiciones socioeconómicas del país y del modelo de desarrollo económico sostenible. Los usuarios inicialmente considerados en este trabajo son las medianas minas de carbón, las canteras de materiales de construcción,

la exploración sísmica y perforación de pozos petroleros y la industria cerámica.

1. El Ambiente y la Minería

La extracción minera agota las reservas en los yacimientos minerales. Cuando esto ocurre deja a comunidades enteras sin empleo y a los entes territoriales donde se asientan sin ingresos creando escasez de recursos para la sociedad; además, en la estructuración y ejecución de los proyectos mineros se pueden generar grandes centros de poder no participativos y con intereses transnacionales. La minería es esencialmente un proceso destructivo por lo que puede ocasionar impactos ambientales y sociales negativos; los que dependen del tamaño de las operaciones, del tipo de depósito mineral, de los métodos de explotación utilizados y de las condiciones topográficas y climáticas de los lugares donde se realiza. Los diferentes tipos de depósitos geológicos difieren ampliamente con la naturaleza y composición de los minerales que contienen y por tal razón son variados los efectos ambientales de su extracción y utilización. Estos efectos y el impacto socioeconómico en general también varían según el grado e intensidad de extracción de los diferentes productos y las técnicas mineras utilizadas.

La minería subterránea, por ejemplo, causa daños o alteraciones en los terrenos donde se inicia; posteriormente, si no se toman las medidas necesarias, puede ocasionar hundimiento de terrenos y condiciones de trabajo inconvenientes; requiere importantes áreas superficiales para la infraestructura de los pozos de extracción, talleres, plantas de lavado, campamentos y su problema principal, desde el punto de vista ambiental, puede ser la disposición de aquellos estériles sólidos y desechos líquidos, que no pueden dejarse en los trabajos bajo tierra.

La minería a cielo abierto presenta problemas mucho mayores debido al desmonte y descapote de las grandes extensiones de terreno a ser utilizadas en las distintas etapas de la actividad minera y la remoción de importantes volúmenes de suelos y rocas mediante la acción de máquinas de gran tamaño, por lo que comúnmente se debe proceder a llenar las áreas explotadas con los estériles de la misma explotación y a relocatear el suelo removido. Una restauración de esta naturaleza debe hacer parte del plan minero total y cuando no se hace con rigor, los daños ambientales,

las alteraciones al paisaje, la desertización, la erosión de suelos, la contaminación del aire y corrientes de agua pueden ser de consideración.

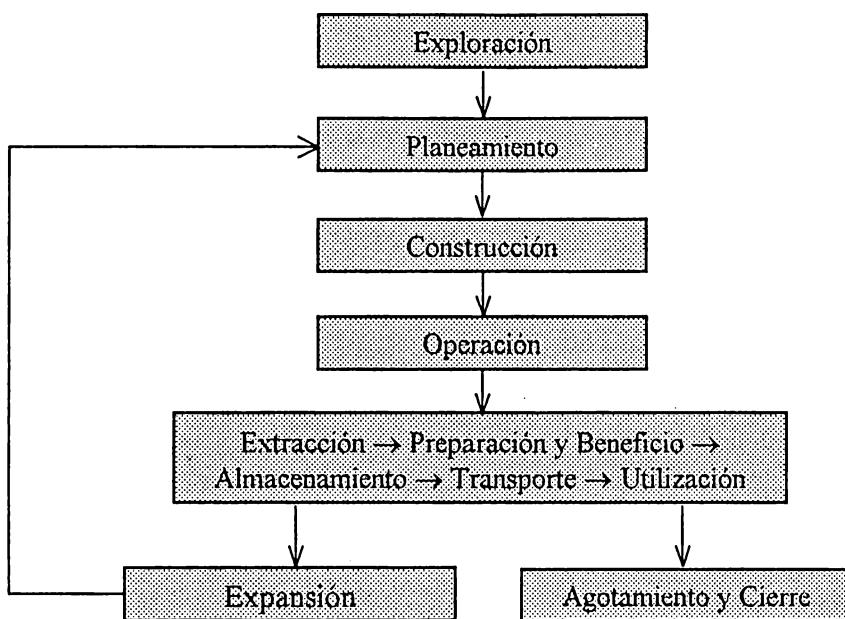
No hay duda entonces de que la extracción de minerales ha sido responsable de una amplia destrucción de tierras y de notables deterioros al medio ambiente, como se constata a través de las evidencias de proyectos mineros pobremente gestionados por todo el mundo. Sin embargo, cabe señalar que la minería no es la actividad económica que más haya causado impactos negativos al ambiente.¹ Actividades más destructoras son por ejemplo, el desarrollo agrícola, la construcción de autopistas, la urbanización de tierras y las redes de ferrocarril. Además se debe tener en cuenta que la minería es una actividad temporal y por lo tanto no implica pérdidas definitivas de terrenos para propósitos económicos alternativos. Es así como se cuenta con innumerables ejemplos de terrenos explotados que han sido restaurados para usos agropecuarios, bosques o vida salvaje, lo que significa que "la actividad minera es generalmente un uso de la tierra de alto valor."²

Los impactos ambientales de la minería están asociados con las etapas del proceso minero que se visualizan en el siguiente cuadro:

¹ "En Colombia, la totalidad de la industria minera no interviene más de 150.000 hectáreas (0.13%) de las 114'174.800 del territorio nacional continental." Proagregados, 1996.

² Las minas de superficie en Estados Unidos ocupan un poco más de 9 mil millas cuadradas, o aproximadamente el 0.25% de la superficie terrestre del país." Mining Magazine, agosto 1997.

² Rahman M.S. Environmental protection in mining industry. IM&EJ, August, 1991.



En cada una de tales etapas o fases de la minería se pueden categorizar los impactos principales de la siguiente manera:³

a. Degradación de Tierras

- remoción de la capa vegetal/deforestación
- cambios en la topografía
- cambios en el modelo de drenaje
- inestabilidad de taludes
- erosión acelerada
- pérdidas de capas de suelo que afecta la productividad agrícola

b. Hidrología y Contaminación de Aguas

- agotamiento de fuentes de agua
- cambios de la hidrología debido a reclasificación y movimiento de tierras
- efectos de deforestación
- percolación subterránea y contaminación
- sedimentación de lodos en los ríos
- problemas de toxicidad, contaminación con metales pesados
- drenaje ácido de minas

c. Contaminación del Aire

Generalmente comprende material particulado y emisiones gaseosas de la extracción, beneficio y transporte de minerales. Tales impactos incluyen:

- molestias respiratorias en trabajadores y población local
- enfermedades oftálmicas
- más baja productividad agrícola
- menor fertilidad animal
- pobre visibilidad

d. Contaminación por Ruido y Vibración

e. Salud Ocupacional y Seguridad

f. Reasentamientos Humanos y de Vida Salvaje

Una gestión responsable en un proyecto minero debe partir de la premisa que la productividad natural del ambiente deberá ser mantenida, en consecuencia la prevención es siempre mejor que las acciones remediales. Las acciones preventivas se deberán preferir tanto desde el punto de vista económico como desde el ambiental. De igual modo se deberá estar al tanto de la evolución de las características de los yacimientos minerales, cada vez de más bajo tenor, más profundos y con mayor dificultad de explotación, y de las tecnologías de extracción para enfrentar con éxito los nuevos condicionamientos ambientales. Otros importantes retos para la industria minera de hoy son: la integración exitosa de los temas comunitarios en las gestión de los proyectos, lo que se ha convertido en una parte esencial en los procesos de desarrollo y los informes corporativos de desempeño socioambiental, lo que también es fundamental, no sólo para mostrar un buen

³ *Environmental impacts of mining: their extent, management and control. Notas del curso sobre minería y ambiente. ENV Suecia, 1992.*

comportamiento a los actores de la industria sino para confrontar las metas de gobierno en pro del desarrollo sostenible.

2. Desarrollo Sostenible

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza ha conceptualizado el desarrollo sostenible reconociendo las distintas dimensiones que necesariamente apuntan al logro de sus metas. Se trata de un avance significativo respecto a la forma general en que había sido planteado por la Comisión Brundtland en 1987, y que Julio Carrizosa⁴ caracteriza en los siguientes términos: “Es un proceso de mejoría económica y social que satisface las necesidades y valores de todos los grupos de la población, manteniendo las opciones futuras y conservando los recursos naturales y la diversidad.” Como se observa, este es un concepto complejo que incorpora los siguientes principios, cada uno de los cuales es aplicable en una u otra forma a las actividades de desarrollo:

- “La sostenibilidad ecológica, que exige que el desarrollo sea compatible con el mantenimiento de los procesos ecológicos, la diversidad biológica y los recursos biológicos.
- La sostenibilidad social, que exige el aumento del control que la gente tiene sobre sus vidas y que se fortalezca la identidad de la comunidad.
- La sostenibilidad cultural, que exige que el desarrollo sea compatible con la cultura y los valores de los pueblos afectados.
- La sostenibilidad económica, que exige un desarrollo económicamente eficiente y equitativo dentro y entre generaciones.”

En concordancia con esta perspectiva y para dar mayor contenido a los aspectos económicos de la sostenibilidad, se ha hecho imprescindible partir de bases concretas como por ejemplo las sentadas en el Seminario “Medio Ambiente y Desarrollo”, organizado por el gobierno belga en 1993.⁵

- “La crisis económica actual no es cíclica sino estructural;

- El modelo económico actual basado en el crecimiento en volumen está obsoleto;
- Hay que desarrollar nuevos indicadores para medir el estilo de vida y el crecimiento cualitativo;
- Debería dársele tiempo a la industria para adaptarse a los nuevos sistemas: la planificación a largo plazo es la clave de la competitividad;
- El desarrollo sostenible incluye aspectos sociales y económicos, así como medioambientales.”

Estos esfuerzos por conceptualizar el desarrollo sostenible y concretar su relación con el crecimiento económico han tenido eco en Colombia. El desarrollo sostenible está consagrado en la Constitución Política como el modelo de desarrollo económico para el país y en consecuencia, en el proyecto de Plan Nacional de Desarrollo presentado por el Congreso de la República se hizo una aproximación sobre el concepto de “sostenibilidad” entendiendo ésta como un crecimiento, que contemple los siguientes aspectos:

- Económico, que se fundamente en incrementos de productividad.
- Ambiental, que sea compatible con la preservación y el manejo adecuado de los recursos naturales.
- Social, que sea generador de empleo, capacidades y oportunidades.
- Político, que sea fundamentalmente equitativo y participativo.⁶

Tal aproximación da pie para interpretar lo que significa o conlleva el desarrollo sostenible en el caso de la industria extractiva en Colombia: cualquier decisión, avance o acción técnica, económica o legal que:

- Favorezca la conservación de los yacimientos a través de la correcta definición de las tasas de extracción, la máxima recuperación y adición de las reservas minerales y las prácticas de ahorro, sustitución y reciclado.
- Minimice los impactos ambientales negativos del proceso minero mediante la reducción de la contaminación hídrica y atmosférica y la degradación de terrenos, así como la disminución de los insumos energéticos y de recursos naturales.

⁴ Véase Carrizosa U. Julio. *La viabilidad del desarrollo sustentable en Colombia. Una contrapropuesta*. en Guihl, Ernesto, *Medio ambiente y desarrollo*. Santafé de Bogotá, 1992. pg. 89-90.

⁵ Thompson, Clive H. *Competitividad y desarrollo sostenible*. Revista Ingeniería Química. Octubre de 1994.

⁶ Desafortunadamente las definiciones no quedaron contempladas en la Ley 508 de 1999 que adoptó el Plan Nacional de Desarrollo.

- Promueva los efectos positivos socioeconómicos de la actividad por medio de la conservación de las tradiciones y valores de las comunidades donde ésta se realiza, el respeto a los derechos fundamentales, la distribución equitativa de los beneficios y de incrementos en productividad.

Este significado demuestra lo enunciado al comienzo de este escrito: en el marco del desarrollo sostenible, el objetivo de las empresas privadas y entidades gubernamentales del sector minero de maximizar la extracción de recursos queda relegada a metas de conservación de los yacimientos, restricciones sobre la utilización de recursos naturales y energéticos, consideraciones sobre el impacto ambiental y social en todas las fases del proceso minero. De tales consideraciones, por tratarse de extraer recursos no renovables, el término “conservación de los yacimientos minerales” es el que podría entrañar interpretaciones ambiguas y contradictorias, sin embargo, las normas, instrucciones, políticas y mediciones tendientes a la conservación se circunscriben generalmente en las tres etapas del negocio minero a:

- Determinar el potencial aprovechable del yacimiento, su explotabilidad, con personal idóneo, modelos geológicos y sistemas de control que garanticen su conocimiento real y científico.
- Evitar el deterioro o agotamiento prematuro del los recursos mediante una explotación técnica y racional.
- Evitar el desperdicio de los minerales extraídos mediante su aprovechamiento integral y el reciclaje.

3. Un Modelo para la Sostenibilidad

Cuando se usa el concepto de sostenibilidad sin proporcionar una definición detallada o al menos la claridad necesaria sobre su significado en un determinado contexto, se puede fácilmente incurrir en errores y llevar a confusión.

Según Pezzy (1992),⁷ quien analizó las varias docenas de definiciones de sostenibilidad hasta ahora publicadas, el concepto se ha utilizado como un

paraguas para cubrir un cierto número de aspectos muchas veces en conflicto, pero no se ha logrado todavía una respuesta clara a las preguntas que surgen cuando se analizan las políticas y decisiones que pueden llevar a la sostenibilidad. Posiblemente los interrogantes más importantes son:

- ¿Se pueden usar los recursos no renovables de manera sostenible, o este concepto se limita a los recursos renovables?
- ¿La sostenibilidad necesariamente implica una más equitativa distribución del ingreso en la generación actual así como entre generaciones?
- ¿Es significativa la sostenibilidad tanto para los países desarrollados como para los países en desarrollo, y para los niveles tanto global o local como nacional?

En este caso particular se tratará de avanzar en la discusión sobre el primer interrogante, que atañe a la actividad extractiva y de proporcionar una visión comprehensiva de la sostenibilidad aplicable a todo tipo de recursos naturales y a países desarrollados y en desarrollo, acudiendo al modelo abstracto de crecimiento y desarrollo propuesto por Pezzy: Economía-Ambiente, usando conceptos del análisis económico convencional (de corte “neoclásico”). De estos conceptos, algunos son mas o menos cuantificables: producto, consumo, capital y recursos naturales; y otros no lo son, tales como: utilidad y bienestar social. Hay críticos que cuestionan el uso de conceptos neoclásicos en el contexto del desarrollo sostenible y la equidad intergeneracional, sin embargo, el modelo adoptado para el establecimiento de indicadores es este trabajo, no sólo es útil para analizar la sostenibilidad sino que evita divagaciones y limita el abuso terminológico.

Sobre el escepticismo de mucha gente que se pregunta si el término sostenibilidad es aplicable a una industria como la minera, basada en recursos no renovables, Patrick Moore⁸ expone dos argumentos de manera plausible, a saber: La gente no entiende el real significado del concepto de “sostenibilidad”. Primero, conviene recordarle que no necesariamente porque un recurso sea no renovable pronto desaparecerá. El hierro, el cobre, el manganeso, el titanio y el aluminio son buenos ejemplos de

⁷ Pezzy, John. *Conceptos sobre desarrollo sostenible: una análisis económico*. W.B. Washington, D.C.

⁸ Presentación del Dr. Patrick Moore (líder en el campo ambiental a nivel internacional, miembro fundador de Greenpeace) durante el Banquete de premiación de la Asociación de Exploradores del Canadá, Toronto, 1997.

minerales cuya producción puede ser sostenida en un futuro previsible. Segundo, la sostenibilidad es un concepto relativo, no es absoluto. Nada es para siempre, aún el sol explotará en tres o cuatro billones de años y entonces no es perfectamente sostenible. La sostenibilidad concluye Moore, es una orden perentoria para todos los segmentos de nuestra sociedad pero cumplirla no debería ser más difícil para la industria minera que para cualquiera otra y recomienda que la industria adopte la filosofía de la sostenibilidad como su objetivo central para el planeamiento estratégico.

Se utilizará, en consecuencia, un modelo de desarrollo económico en el que los diferentes tipos de recursos no renovables (S_n) se incluyen en el stock de recursos naturales S que comprende además los diferentes tipos de recursos renovables (S_a), entonces S = {S_a, S_n} y los flujos de recursos correspondientes se clasifican de manera similar en renovables y no renovables: R = {R_a, R_n} . De manera similar, las demás relaciones entre las variables del modelo son vectoriales, aunque es posible simplificarlas como relaciones escalares entre agregados.

La obtención de productos depende no solamente de capital, K; trabajo, L; insumos de recursos, R; tecnología, T; sino también de la calidad ambiental, E. Esta, además del stock de recursos, S, comprende los stocks de contaminación, P, y puede ser agregada en diferentes formas, denominándose E1 cuando el agregado ambiental afecta la producción y E2 cuando afecta valores de amenidad (satisfacción, placer, servicios ambientales) pero también es práctico simplificar los dos conceptos en uno y llamarlo E.

El crecimiento tanto de capital como de tecnología es igual a la inversión total menos la depreciación. El crecimiento de los recursos es igual al crecimiento natural (el cual es cero para los recursos no renovables) menos la extracción de recursos. El crecimiento del stock de contaminación iguala la tasa de disposición de desechos menos un término de asimilación que representa tanto la asimilación natural como los efectos del mejoramiento de los gastos de limpieza. El crecimiento de la población humana depende del crecimiento natural y de una forma compleja del efecto del consumo. La productividad del trabajo es afectada por el consumo y la calidad ambiental. Finalmente, la utilidad o bienestar social incluye además el efecto "amenidad

ambiental".

La relación funcional anterior puede representarse como: $Q = Q(K, L, T, R, S, P)$, lo que se simplifica como: $Q = Q(K, L, T, R, E1)$ y la utilidad social $U = U(C, S, P)$ lo que se simplifica como $U = U(C, E2)$.

Las definiciones de desarrollo sostenible y uso de recursos sostenible que servirán de base para el establecimiento de indicadores de sostenibilidad en este trabajo serán entonces:

- Utilidad, U, no declinante a partir de un mínimo de bienestar per cápita por encima del nivel de supervivencia (lo que incluye tanto equidad intergeneracional como intrageneracional)
- Stock de recursos, S, no declinante, y la contaminación, P, por debajo de un límite tan bajo como sea posible (lo que incluye tanto recursos renovables como no renovables).

4. Indicadores de Sostenibilidad

De las anteriores consideraciones se desprenden las preguntas claves acerca de la sostenibilidad en el caso de la industria extractiva:

- ¿Se pueden identificar y medir efectivamente los niveles sostenibles de conservación de yacimientos?
- ¿La capacidad ambiental y el consumo ambiental son medibles a tal punto que se pueda determinar si se están manteniendo en las fases del proceso minero?
- ¿Cómo enfrentar la posibilidad de que los niveles de sostenibilidad estén mal estimados?
- ¿Son compatibles los intereses privados con los de la sociedad para garantizar metas de sostenibilidad?

Si bien los interrogantes planteados son válidos, el concepto de indicadores se constituye en una herramienta útil de respuesta con miras a presentar el desempeño de una empresa en forma medible y comprehensiva en los aspectos que implican sostenibilidad. En el caso de un proyecto minero en particular, podrían utilizarse indicadores adecuados para saber por ejemplo, si:

- ¿Se está prolongando la vida útil del yacimiento?
- ¿Se está impactando el ambiente menos que

- antes o menos que otra empresa similar?
- ¿Se está consumiendo menos energía y menos recursos renovables por unidad de producto extraído?
 - ¿Se utiliza un modelo de gestión más participativo que el que se utilizaba antes o que el utilizado en otro proyecto?

Es claro entonces que el desarrollo de indicadores de sostenibilidad aplicables a la industria extractiva para mejorar el desempeño ambiental y social de las compañías mineras contribuye al logro de metas de desarrollo sostenible.

Se hace por tanto necesario diseñar técnicas para desarrollar y hacer operativos tales indicadores en proyectos mineros, por rangos de usuarios, dadas la variedad y complejidad de los procesos de extracción, para facilitar la información sobre el desempeño técnico, social y ambiental corporativo, poder anticiparse a los efectos negativos de las operaciones y estructurar un esquema proactivo de responsabilidad social a nivel operacional y corporativo, identificando puntos débiles y capacidades de mejoramiento. Los rangos de usuarios podrían ser por ejemplo empresas de: exploración sísmica, perforación de pozos petroleros, canteras de materiales de construcción, pequeñas minas de carbón, etc., pensando en optimizar y evaluar su desempeño social y ambiental, así como sus registros de sostenibilidad, para que los avances puedan ser sistematizados y comparados en el tiempo y reportados debidamente a los actores de las empresas, tanto internos y externos.

De lo anterior se desprende que una buena gestión de los efectos sociales y ambientales de cada uno de los grupos de usuarios señalados exige identificar las interacciones de cada proyecto con su entorno y así establecer un "juego integrado de indicadores biofísicos, económicos y sociales"⁹ incluyendo los indicadores propios del proceso minero, tales como los de insumo-producto, capacitación, bienestar y participación para ser usados en evaluación de desempeño, análisis costo-beneficio, toma de decisiones estratégicas y monitoreos de progreso, y planeamiento participativo.

En la práctica los indicadores ambientales podrán

⁹ Warhurst, Alyson. *Environmental and social performance indicators and sustainability markers in minerals development. A prospectus*. University of Bath. U.K., 1997.

utilizarse para: ilustrar mejoramientos ambientales, detectar potenciales de optimización, deducir y plantear metas ambientales, identificar oportunidades potenciales de mercado y de reducción de costos, evaluar desempeños comparando compañías, proporcionar datos para informes y certificados, proporcionar retroalimentación para motivar los cuadros de dirección, soportar la implementación de regulaciones tales como las EMAS¹⁰ o las ISO 14001¹¹, aunque es de anotar que en sentido estricto, la aplicación de estas regulaciones no requiere de indicadores.

En general, los indicadores pueden clasificarse en tres importantes grupos, dependiendo si describen un impacto ambiental de la actividad minera (desempeño ambiental), las actividades de gestión o las condiciones ambientales externas a la compañía. En el primer grupo están los indicadores de insumo-producto de materiales y energía que podrán ser usados por las compañías mineras como un punto de partida hacia la sostenibilidad. Los ejemplos típicos son: consumo de energía total, cantidad de desechos por unidad de producto, número de instalaciones ambientalmente relevantes y volumen de transporte total.

El establecimiento de tales indicadores es un proceso que resume los datos ambientales para validar información clave, básica y poder hacerla comparable año por año. El método normalmente utilizado para el efecto comprende las siguientes etapas:¹² la primera consiste en hacer un inventario de los problemas ambientales del entorno de la compañía. Desde el punto de vista interno, los indicadores seleccionados se deberán referir a las áreas que pueden estar directamente influidas por la compañía, para lo cual se debe recurrir a resolver las siguientes preguntas: ¿Cuáles son los principales problemas ambientales de la compañía? ¿Dónde los mejoramientos ambientales pueden reducir costos o

¹⁰ La regulación EMAS se basan en la participación voluntaria de compañías industriales en Europa que incluye una ecogestión y un sistema de auditaje (EEC Regulation 1836 de 1993). Después de una evaluación externa exitosa, la compañía recibe certificado oficial de participación.

¹¹ La regulación ISO 14001 es el estándar aplicado internacionalmente para certificar sistemas de gestión ambiental. La organización de estándares internacionales ISO está trabajando en sus propios indicadores ambientales ISO 14031 para evaluar el desempeño ambiental.

¹² Según lo recomendado por la Guía de indicadores ambientales corporativos de la Federal Environment Agency 1997.

incrementar ingresos? ¿Dónde están los mayores potenciales de optimización? Así mismo deberán tenerse presente las exigencias externas, es decir, los indicadores requieren ser complementados con prioridades de política ambiental, lo que exige conocer también en forma detallada la respuesta a los siguientes interrogantes: ¿Qué hace la compañía que afecta la situación local o regional? ¿Qué problemas dominan las discusiones políticas en la actualidad? ¿Qué requerimientos externos afectan la compañía?

Las otras etapas que conforman propiamente la mecánica del método recomendado para establecer indicadores son las siguientes:

- Diseño del sistema de indicadores
- Consecución de datos y determinación de indicadores dentro del sistema
- Aplicación
- Revisión
- Objetivos derivados y medidas

De igual manera la Federal Environment Agency, 1997, recomienda que en todo el proceso de establecimiento de un sistema de indicadores sean considerados los siguientes principios básicos:

- *Comparabilidad*: que permitan hacer comparaciones y reflejar cambios de impactos ambientales.
- *Orientación por objetivos*: que persigan metas de mejoramiento que puedan ser influenciadas por la compañía.
- *Balance*: que propicien un enfoque coherente entre el desempeño ambiental, las áreas de problemas ambientales y los potenciales de mejoramiento.
- *Continuidad*: que utilicen los mismos criterios de selección de datos en todos los períodos, que se refieran a intervalos comparables y se midan en unidades comparables.
- *Oportunidad*: que se determinen para intervalos cortos y suficientes y se evite la utilización de información extemporánea.
- *Claridad*: que sean claros y comprensibles para el usuario y los actores de la compañía, además coherentes y que se concentren en los datos esenciales.

Es de anotar que los indicadores ambientales generalmente están relacionados con cantidades

(medidas físicas), pero se pueden desarrollar simultáneamente indicadores relativos a los costos, debido a los substanciales incrementos en los últimos años de las sumas asignadas a la protección ambiental. Para la industria extractiva, es previsible que al inicio del establecimiento de indicadores no se encuentren datos relacionados con la cantidad y haya que acudir entonces a los indicadores ambientales relativos a los costos, como se ha podido comprobar, por ejemplo, en una primera consulta a las empresas organizadas que extraen carbón en la cuenca carbonífera de Antioquia, las cuales carecen de información sobre el volumen de estériles que han extraído de las minas por cada tonelada de mineral producido. Aunque algunas, sí han podido establecer los costos en que han incurrido para disponer tal material en superficie. Tampoco saben dar cuenta de la cantidad de combustible utilizado en el transporte de una tonelada de carbón hasta un determinado centro de acopio o de consumo, pero sí llevan registros de los pagos efectuados por este concepto.

Aunque se trata de estructurar sistemas integrados de indicadores para cumplir objetivos de sostenibilidad, un ejemplo de lo que sería prioritario establecer, en medidas físicas y no monetarias, para una compañía que perfora pozos para la extracción de petróleo y cuyo principal problema ambiental es la contaminación por "lodos" de perforación, de fuentes de agua superficial y subterránea utilizando indicadores hidráticos, son las variaciones en el patrón de drenaje, en el flujo hidráulico, en la calidad y usos del agua y en la sedimentación. Así mismo, es imprescindible determinar en esta actividad, los grados de formación de asentamientos humanos con incrementos en la presión por la demanda de servicios públicos y las variaciones en los patrones de consumo y transculturización. Para el caso de las pequeñas y medianas minas subterráneas de carbón, son los indicadores de insumo-producto los que toman gran preponderancia ya que permiten el monitoreo de la utilización eficiente de los recursos energéticos y de otros recursos naturales de vital importancia como el agua, la madera, la mano de obra, así como el seguimiento a la reducción de desechos y emisiones por tonelada de mineral producido: así mismo, son vitales aquellos indicadores que muestran los progresos en el mejoramiento de las condiciones de higiene y seguridad en las que se realizan las operaciones al interior de los macizos rocosos. En la exploración minera y petrolera, que es una actividad

costosa y de alto riesgo para las compañías, pero dispersa, transitoria e incierta, no solo para estas sino para las comunidades que habitan las áreas en estudio, adquieren gran significado los indicadores sociales que midan la penetración cultural y las relaciones entre las compañías mineras y las comunidades, especialmente las indígenas o tradicionales, que algunas veces pueden estar aisladas o marginadas en su propio país. En las actividades mineras a cielo abierto tendrían mayor pertinencia los registros por unidad de producto de: instalaciones ambientalmente relevantes, pérdidas de vegetación, remoción de suelos, rocas y alteraciones al paisaje y volumen de transporte total por unidad de producto y todos aquellos parámetros relacionados con la prolongación de la vida útil del yacimiento.

Quizás el mayor reto para este tipo de minería es evitar las cicatrices permanentes al paisaje y la contaminación con metales pesados de los drenajes naturales que suelen producirse en las minas de bajo tenor, donde la cantidad de estériles de minería y desechos de tratamiento se eleva sustancialmente en relación con el mineral útil producido.

Para todos los tipos de usuarios y por tanto en todas las clases de minas y actividades extractivas y en el marco filosófico de que la minería es un uso temporal del suelo, los indicadores sobre la calidad de la restauración ambiental de las áreas afectadas por la minería van a ser de gran ayuda para garantizar una utilidad o bienestar social no declinante.

Como se desprende de la anterior reseña, tan poco exhaustiva, pero que sin embargo brinda suficiente ilustración, en Colombia hay mucho por investigar en materia de indicadores de sostenibilidad y su aplicación a las empresas mineras.

5. Propuesta metodológica para la caracterización del entorno

La base para la correcta selección de juegos integrados de indicadores con aplicación a las empresas mineras es la caracterización de su entorno tecnológico, ecológico, social, cultural, legal y financiero. Es decir la determinación de un punto de partida desde el cual sea posible mejorar el desempeño empresarial a través de una gestión hacia la sostenibilidad. Para tal caracterización, se propone interrelacionar las metodologías por áreas del saber y lograr un procedimiento transdisciplinario sin traslapos

ni redundancias. Los datos requeridos por cada área se relacionan a continuación, de acuerdo con una propuesta inicial elaborada por el grupo semilla de investigación: Economía ecológica y ambiental de la Universidad Nacional, Sede de Medellín

5.1 *Caracterización técnica: procesos de exploración, extracción, beneficio y transformación*

a. Los datos específicos:

- Grado de conocimiento que se tiene del yacimiento para ajustar correctamente los estudios técnicos y las operaciones extractivas: resultados de trabajos geológicos de superficie, de reconocimientos geofísicos y de sondeos; hipótesis metalogénicas y datos sobre su verificación; construcción del modelo de mineralización, forma y dimensiones del depósito a explotar, tenor medio o calidad del mineral, reservas planificables, métodos de muestreo, de análisis y de cálculo utilizados, el tenor de corte; las relaciones mineral-estéril, las reservas explotables, el ritmo de explotación y vida de la mina.
- Con el yacimiento identificado, las reservas explotables estimadas, se procede a obtener los datos técnicos relacionados con la explotación y el beneficio o tratamiento del mineral: método de explotación: restricciones geométricas, geotécnicas, ecológicas y económicas; verificaciones de mecánica de rocas, perforabilidad, arranque, distribución granulométrica, razones de descapote, etc.; operaciones unitarias, equipos y resultados; composición mineralógica del mineral extraído (proporción volumétrica o ponderada de los minerales presentes); variabilidad de la composición mineralógica, composición química de los diferentes minerales, asociaciones, textura de las rocas y grados de liberación; métodos de separación o clasificación, trituración y molienda, equipos y resultados; descripción del sitio de la planta; aprovisionamientos de energía y de agua; descripción del sitio para la disposición de estériles y tratamiento de desechos; el transporte de mineral, de insumos, de productos, equipos y resultados; cantidad y grado de capacitación de personal.
- Los anteriores datos técnicos deben permitir la determinación de los datos económicos de la

operación; inversiones, costos operatorios, ingresos (fórmulas de venta; precios), rentabilidad, análisis de sensibilidad y riesgo, efectos económicos de conjunto (desde la perspectiva ya no de la empresa sino de la comunidad), influencia de los parámetros macroeconómicos: tasa de inflación, tasa de interés, tasa de cambio, régimen tributario y otros datos de interés.

b. La Sostenibilidad de la Operación Minera: La prolongación de la vida útil del yacimiento

- *Recuperación:* La recuperación es la razón entre la cantidad de mineral que se saca realmente al exterior y pasa a los otros procesos de beneficio y transformación, y la cantidad existente en el yacimiento. Se expresa en porcentaje. No sólo se puede expresar la recuperación total del yacimiento, sino también la de determinadas zonas, sectores, bloques u otras secciones de la explotación.
- *Pérdidas de Mineral:* En el proceso de extracción del mineral, parte del mismo cae al piso, permanece en el subsuelo y en definitiva se pierde. Las pérdidas de mineral relacionadas con el sistema de explotación pueden dividirse en los siguientes grupos: por arranque incompleto en los contornos del cuerpo abandonado del mineral en los tramos con alteraciones tectónicas y en las ramificaciones, por zonas o pilares abandonados y pérdidas durante la evacuación y transporte. Lo anterior es función del sistema de explotación, de las particularidades mineralógicas y físicas del yacimiento y del cuidado con el que se realicen las operaciones mineras

Los perjuicios causados por las pérdidas de mineral durante su extracción son básicamente: utilidades y características de los recursos que no fueron aprovechadas; reducción del período de vida útil de la mina; inversiones improductivas en prospección y exploración; incremento en el período de la amortización del capital invertido en infraestructura e instalaciones; inversiones infructuosas en desarrollo, preparación, arranque y demás trabajos mineros ocasionados por el material perdido, y reducción de los beneficios.

- *Dilución:* Cantidad de rocas que no son útiles pero que se extrae mezclada al mineral, independientemente de que la roca contaminante contenga alguna cantidad de mineral útil no

explotable económicamente o que sea completamente estéril. La contaminación o dilución se determina a través de mediciones directas de la cantidad del mineral extraído y de la roca mezclada con él o según la reducción del contenido del mineral útil en la masa rocosa extraída, en comparación con el del mineral "industrial".

Los perjuicios causados por la dilución del mineral con material estéril durante su explotación son básicamente: inversiones improductivas en transporte de roca estéril mezclada al mineral o de mineral pobre mezclado al mineral "industrial" (aquel que está por encima del mínimo tenor o estándar de calidad exigido) y en su tratamiento en las operaciones de beneficio; pérdidas adicionales de mineral que se presentan durante la clasificación y enriquecimiento del mineral diluido y reducción de la productividad de la operación minera y a veces desmejoramiento de la calidad de los productos.

c. Los Efectos en el Ambiente

- *Minería de Superficie:* La Operación: Su profundidad límite es de aproximadamente 300 m, variando según el tipo de rocas a remover y la riqueza del mineral. Sus principales variantes son: minería de contorno, corte por franjas, y open pit (utilizando palas, camiones, dragalinas, minero continua) Incluye remoción de la vegetación, capa de suelo y capas suprayacentes al mineral.

Sus efecto o impactos ambientales más comunes son: destrucción y alteración de la vegetación y de los patrones de drenaje natural; cambio en la utilización del suelo en el área de la mina; erosión de zonas destapadas; acumulaciones de suelo y de estratos excavados que generan sedimentación y contaminación de las corrientes de agua; se crea la posibilidad de drenaje ácido; desde la mina se produce polvo durante las operaciones que causan problemas de visibilidad y pérdida de producción agrícola, y genera efectos en el consumo de agua en las zonas áridas

Sus principales efectos sobre la salud son producidos por: ruido y vibraciones causadas por la maquinaria; voladuras con explosivos; potencialidad de silicosis y otros problemas respiratorios debido a los polvos y detritos generados durante toda la operación.

- **Minería Subterránea:** La Operación: básicamente en Colombia se emplean dos sistemas de explotación: tajo largo y cámaras y pilares, con algunas variaciones en el equipo utilizado y en el trazado de la mina.

Sus efectos o impactos ambientales más comunes son: genera acumulaciones o pilas de materiales en superficie con erosión potencial y otros efectos como sedimentación y acidificación de las corrientes de agua; posibilidad de combustión de las pilas causando contaminación del aire e inestabilidad; el drenaje de las minas altera significativamente la calidad del agua de un área importante por la remoción de minerales solubles de los acuíferos y por la acidificación de la superficie de las corrientes de agua; pérdida de la producción agrícola sobre grandes áreas debido a la subsidencia; efectos en el consumo del agua en zonas áridas; derrumbes y taponamientos de la bocamina; emisión de gases por explosivos y equipos; generación de polvos en los frentes de avance y puntos de transferencia de mineral y roca; consumo de insumos maderables y energéticos; generación excesiva de polvos y gases en los frentes de arranque y puntos de transferencia de mineral; desprendimiento de rocas; incrementos en la humedad y temperatura; y disposición inadecuada de escombros.

Sus principales efectos sobre la salud son producidos por: el ruido y vibraciones causados por la maquinaria y las voladuras con explosivos; neumoconiosis y problemas respiratorios debidos al polvo, intoxicaciones por gases de la mina, efectos debidos al ambiente de trabajo deficiente por altas temperaturas, condiciones de humedad, iluminación deficiente y alta rata de accidentalidad.

- **Preparación y Beneficio:** La Operación: trituración, molienda y concentración, dependiendo de la utilización final de los productos extraídos y eventualmente lavado como en el caso del carbón para reducir contenidos de azufre y cenizas.

Sus efectos o impactos ambientales más comunes son: efectos del polvo por la comminución de rocas y minerales y escasez de agua por su consumo en zonas áridas, polución del aire a partir de las emisiones de combustibles en procesos de calcinación, tostación y secado; disposición superficial de estériles en pilas:

combustión espontánea y erosión; disposición de agua en lagunas y contaminación de agua superficial.

Sus principales efectos sobre la salud provienen del polvo, el ruido y las altas temperaturas.

5.2 Caracterización de los aspectos bio-ecológicos

Para el estudio de caracterización se debe partir de considerar como categoría de análisis: "la base de recursos biológicos". Para el efecto se tiene un elemento principal y tres sustratos que hacen posible ese elemento. El primero es la Biodiversidad y los segundos suelo, agua y aire. Aunque la definición de biodiversidad que adoptó la Conferencia Mundial de Río 92 fue la "variabilidad de los organismos vivos de cualquier origen" ésta no se tendrá en cuenta por la dificultad de cuantificarla, en tanto se plantea el problema de la evolución biológica. En su lugar se recurre a la idea tradicional de biodiversidad, es decir al número de especies vivas en un área y tiempo determinado; esto se entenderá como el nivel de variabilidad cuantitativa de especies animales, vegetales y microorganismos del suelo y el agua.

Los tres sustratos a considerar son: suelo, medible en su erosión y cambios físico químicos; agua, medible en los cambios en niveles de caudal y modificaciones físico-químicas; aire, medible en cuanto a cambios en partículas en suspensión, físico química de estas partículas y gases tóxicos (CO_2 , NO_x , SO_x etc.)

El análisis requiere delimitar un área alrededor de la mina explotada que sea afectada directamente por los desechos y la operación de la mina. En ese sentido, podría decirse que se trata de cuatro operaciones:

- Delimitar un área de suelo y agua sobre la cual se viertan desechos y se establezca infraestructura para la operación de la mina. Esta área debe incluir una zona de transición.
- Medir niveles de cambios físico-químicos, temperatura y pH sobre esa área.
- Medir el área y cuantificar las especies vivas del área despojada de cubierta viva o intervenida con la operación de la mina.
- Establecer la toxicidad de los desechos generados por la operación de la mina

5.3 Caracterización social y cultural

Se requiere conocer, evaluar y comparar la situación antes, durante y después de la explotación.

- a. **Historia de la Zona:** Analizar las tendencias antes de la explotación y a partir de ésta; situar la minería en el proceso de desarrollo de la zona; evaluar los cambios sociales y culturales.
- b. **Condiciones de vida antes, durante y después de la explotación:**
 - Población por sexo y edad; su localización en relación con los asentamientos humanos y los sitios de explotación; densidad
 - Tasas de crecimiento poblacional considerando las migraciones inducidas por la actividad minera. Comparar pirámides de población en el tiempo y obtener información acerca de los lugares de origen de la población migrante
 - Nivel educativo de la población y capacitación para el empleo en la minería
 - Condiciones de salud (tipos y causas de enfermedades, causas de muerte, números y razones de ingresos al hospital)
 - Tipos de ocupación de la población para conocer los niveles de vinculación de la población a las actividades mineras y de evaluar los cambios introducidos con la actividad minera (ocupaciones tradicionales y nuevas, relacionadas con la minería o complementarias) Se trata de cruzar estos indicadores con las variables económicas y de evaluar los niveles de preparación para el trabajo minero y las actividades generadas por la explotación minera, con sus repercusiones en la población.
 - Niveles de ingresos: Se trata de cruzar estos indicadores con las variables económicas para medir la calidad de vida de la población, las necesidades básicas satisfechas e insatisfechas y los cambios generados por la actividad minera.
 - Recreación: Acceso a actividades recreativas, tipos y frecuencia.
- c. **Infraestructura antes, durante y después de la explotación:**
 - Infraestructura para la educación y la cultura (escuelas primarias y secundarias, casas de la cultura, teatros)
 - Infraestructura en salud (puestos, hospitales, recursos)

- Infraestructura para la recreación y el deporte (espacio público, canchas, coliseos)
- d. **Organizaciones comunitarias y locales: procesos participativos:**
 - Organizaciones de la comunidad en la zona y otras organizaciones locales, su papel y sus campos de acción en los tres tiempos considerados
 - Experiencia en los procesos participativos. ¿Alguno en torno a la minería?
 - Interacción con los responsables de la administración municipal y con la empresa responsable de la explotación minera.
- e. **Actores comprometidos en el proceso de explotación**
 - Actores presentes (diferentes de las organizaciones locales) en la zona, antes de la explotación, sus integrantes y su papel
 - Actores nuevos a partir del inicio de las actividades de explotación, sus integrantes y su papel. Relaciones con los actores anteriores y con las organizaciones locales.
 - Actores que permanecen o que salen al finalizar la explotación, sus integrantes y su papel.
- f. **Conflictos**
 - Conflictos en la zona
 - Conflictos que aparecen con el proceso de explotación, su desarrollo y su proceso de resolución
 - ¿Cómo se articulan estos conflictos a otros conflictos en la zona (conflicto armado, lucha por la tierra, explotación de otros recursos)?
- g. **Aspectos culturales**
 - Valores compartidos por la población. ¿En qué medida los valores tradicionales han evolucionado con la explotación minera? ¿Cuáles han sido los cambios?
 - Sentido de pertenencia de la población a la zona, especialmente de la población migrante.
 - Vida cultural y actividades culturales tradicionales y nuevas. ¿Qué ha cambiado con la introducción de la actividad minera?
 - Patrimonio cultural, ambiental, paisajístico, histórico, arqueológico y arquitectónico. ¿En qué medida el patrimonio ha sido afectado por la explotación minera? ¿Cuáles han sido las consecuencias?

5.4. Caracterización de la empresa en sus aspectos legales

Determinar las características de quién está realizando la explotación minera y su grado de formalización requiere básicamente dar respuesta a un número significativo de preguntas.

a. Estructura Legal:

- Constitución de la empresa: Escritura, fecha, notaría, ciudad;
- Clase de Sociedad: Sucursal de extranjera, Anónima, Limitada, En Comandita Simple o por Acciones, Sociedad Ordinaria de Minas;
- Objeto social de la Sociedad: ¿ésta tiene como objeto principal la minería u otra actividad? El objeto (complementario, similar o no);
- Domicilio social: Ubicado en el área de la explotación, en un municipio cercano o lejano;
- Socios: Número de socios o personas que son dueñas de la compañía. Nacionales y extranjeras. ¿Hay personas de la comunidad local?

b. Estructura Administrativa

- ¿Quién es el representante legal de la Sociedad? ¿Quién representa a la sociedad en el área de explotación?
- Órganos sociales: Directamente relacionado con el tipo de sociedad. ¿Cuántos son los miembros de la Junta Directiva?
- Departamento de Personal: ¿Quién es la persona encargada y cuál su formación? ¿Cuántos trabajadores hay? ¿Están sindicalizados? ¿Están afiliados al sistema de seguridad social? ¿Cómo se fijó la escala salarial? ¿Hay reglamento interno de trabajo? ¿Hay normas de seguridad industrial establecidas? ¿Se llevan estadísticas de accidentalidad? ¿Hay programas de salud ocupacional?
- ¿Hay departamento o persona encargada de las relaciones con la Comunidad?
- ¿Quién se encarga de las relaciones con las autoridades públicas?
- ¿Qué informes se presentan a los distintos niveles de la empresa? ¿Qué información se le da a los trabajadores?

c. Aspectos legales sobre títulos y autorizaciones

- Normatividad Minera y Petrolera : Título Minero: clase y tamaño de la explotación (licencia de exploración, licencia de explotación, contrato de

concesión, contrato en zona de aporte –titular del aporte–, permiso, propiedad privada y si es pequeña, mediana o gran minería), vigencia del título, tiene registro al día, importancia que se otorga a este aspecto, percepción que se tiene en la empresa de las autoridades mineras, se presentan informes regularmente (¿contienen la información real o son maquillados?) ¿Se están pagando las regalías cumplidamente y en qué monto? ¿Qué control hace la autoridad minera a las actividades que se desarrollan?

- Contrato Petrolero: clase de contrato (asociación o concesión), duración, relaciones de la empresa con Ecopetrol, qué informes se presentan, qué control hace Ecopetrol sobre las actividades
- Normatividad Ambiental: ¿Se cuenta con autorización ambiental al día? Se considera que el cumplimiento de las normas ambientales es “un mal necesario” o hay verdadero compromiso de la empresa. ¿Cómo se traduce el compromiso? ¿Qué percepción se tiene al interior de la empresa sobre las autoridades ambientales? ¿Qué seguimiento hacen las autoridades ambientales a las actividades de la empresa?
- Relaciones con Autoridades Locales: ¿Cómo se relaciona la empresa con las autoridades locales? ¿Se participó en la elaboración de los Planes de Ordenamiento Territorial? ¿Se hace seguimiento a la destinación que hacen las autoridades locales de las regalías que reciben por la explotación del recurso natural no renovable? ¿Cómo reaccionan las autoridades a este seguimiento?

5.5 Caracterización financiera:

En cuanto a la situación financiera de la empresa es necesario efectuar la revisión detallada de sus informes y balances periódicos de gestión para establecer los principales índices de liquidez, endeudamiento, rendimiento y actividad, que sean compatibles con la caracterización del entorno integral de la actividad minera particular. Tales índices están basados en las relaciones entre el patrimonio, pasivos, activos, utilidades y ventas de la empresa.

Conclusión

El planteamiento acá esbozado conduce a concluir: primero, que en Colombia es absolutamente necesario

desarrollar y evaluar metodologías para diseñar indicadores de sostenibilidad para las empresas mineras por rangos de usuarios, que contribuyan a mitigar los efectos detrimontales de sus actividades y la promoción de sus efectos positivos sobre el ambiente natural y humano, y segundo, que una vez establecidos los indicadores es igualmente necesario ensayarlos, adaptarlos y mejorarlos en el campo, para posteriormente usarlos en forma sistemática y continua en pro de las metas de desarrollo sostenible, derivadas del ordenamiento constitucional y consignadas en los planes de desarrollo económico.

Por último, dadas las características de la actividad minera en Colombia, se hace necesario adelantar las investigaciones de campo tendientes a determinar los indicadores de sostenibilidad y de desempeño socioambiental en sectores como exploración sísmica, perforación de pozos petroleros, extracción de materiales de construcción en canteras, grandes minas de carbón a cielo abierto, pequeñas y medianas minas subterráneas y extracción y beneficio de materiales en terrazas y lechos de los ríos. Esfuerzo investigativo que ha emprendido con entusiasmo el grupo de Economía ecológica y ambiental de la Universidad Nacional, Sede de Medellín.

Bibliografía

- Cabeza G., Maite.** 1996. The concept of weak sustainability. *Ecological Economics* 17.
- Cecodes.** Guzmán, Enrique. 1998. Indicadores de sostenibilidad. Memorias del seminario internacional de medio ambiente y desarrollo sostenible. Bucaramanga, octubre de. p. 122-131.
- DNP.** Cancino Acuña, Sonia. 1998. Propuesta metodológica para la construcción de un sistema de indicadores de planificación y seguimiento ambiental. Memorias del seminario internacional de medio ambiente y desarrollo sostenible. Bucaramanga, octubre de. p. 26-33.
- Ecopartner.** 2000. Metodología de evaluación. Programa Cantera Verde. Santafé de Bogotá. Informe de avance, julio.
- Federal Environment Ministry and Federal Environmental Agency.** 1997. A guide to corporate environmental indicators. Bonn/Berlin.
- Khanna, Tracey.** 1999. Mining and the environmental agenda. En: Mininig Magazine, septiembre. p. 157-163
- Mern.** 1998. Environmental & social performance indicators and sustainability markers in mineral development. A prospectus. University of Bath. UK.
- Minería Latinoamericana.** 1997. Informe técnico preparado por expertos españoles sobre: Evaluación del impacto ambiental en la minería. No. 24 y 26, Santiago de Chile.
- Moore, Patrick.** 1997. Hard choices for environmentalists and the mining industry. PDAC, Toronto.,
- Pezzey, John.** 1992. Conceptos sobre desarrollo sostenible: un análisis económico. W.B. Washington D.C.,
- Posada L.G. y Vargas E.** 1997. Desarrollo sostenible, relaciones internacionales y recursos minero energéticos. Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá, D.C.
- Rahman M. S.** 1991. Environmental protection in mining industry. IM & EJ, August. p. 15-20.
- Thompson, Clive H.** 1994. Competitividad y desarrollo sostenible. En: Ingeniería Química, octubre. P. 53-57.
- Thompson, Ian.** 1999. We live interesting times: a social licence to operate: essential for success in exploration. Vancouver.,
- Thomson, Ian and Joice, Susan A.** 1997. Mineral exploration and the challenge of community relations. B.C. Yukon Chamber of Mines. Junio 19.
- Toman, M. and Walls, M.** 1995. Nonrenewable resource supply: theory and practice. Capítulo 9, p. 182-201 de Bromley, Danile W. (De.). UK USA.,
- Vargas, Elkin.** 1997. El desarrollo sostenible y los recursos naturales no renovables. En: *Ensayos de Economía* No. 13. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, diciembre. p. 73-112.
- Vargas, Elkin.** 1998. Minería y medio ambiente. En: Gestión y Ambiente No. 1. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, noviembre. p. 17-26.
- Werther, Guntram.** 1997. Native peoples' issues and the future of mining. International California Mining Journal. Vol. 66 No. 10. California.