

# Propuesta metodológica para el diseño de sistemas de indicadores de sostenibilidad (SIS), en regiones mineras de Iberoamérica

D. Guerrero Almeida, R. Guardado Lacaba y R. Blanco Torrens

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, "Dr. Antonio Núñez Jiménez"  
Las Coloradas s/n. Moa, Holguín, Cuba. CP 83329

E-mails: dguerrero@ismm.edu.cu - rguardado@ismm.edu.cu - rblanco@ismm.edu.cu

## RESUMEN

El presente trabajo representa un paso adelante para lograr el desarrollo minero sostenible en Iberoamérica. Constituye el resultado de las investigaciones realizadas a partir del conocimiento de la actividad minero-metalúrgica y experiencias adquiridas en este sentido; lo que fundamenta un sistema de indicadores de sostenibilidad, como proceso dinámico y cambiante en el que participaron las partes interesadas: empresas mineras, comunidad, administraciones territoriales, instituciones y organizaciones científicas, ambientalistas y otros. En él se aborda la línea metodológica básica para el diseño de un sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS) en el cual se estudiaron los procesos y fenómenos que inciden en la actividad minera de Iberoamérica. Los resultados obtenidos son fruto de investigaciones multidisciplinarias y se caracterizan por su gran flexibilidad y aplicabilidad.

Palabras clave: desarrollo minero sostenible, geopotencial, indicadores mineros sostenibles, medio ambiente

## ***Methodological proposal for the design of a systems of sustainability indicators (SSI) in mining regions of Iberoamerica***

### ABSTRACT

*This paper represents a skip forward to reach sustainable mining in Iberoamerica. It represents the result of reseach carried out from the knowledge of the mining-metallurgy activity and experiences acquired in this field, upon which to base a system of sustainability inicators as a dynamic and changing process in which all interested stake holders participated: mining companies, community, territorial administrations, scientific institutions and organisation, environmentalists and other. The text deals with a basic methodological line in the design of a system of sustainability indicators (SSI) that revised the processes and phenomena that affect mining in Iberoamerica. The results obtained are the product of multidisciplinary research and are characterized by their flexibility and aplicability.*

*Key words: environment, geopotential, sustainable mining development, sustainable mining indicators*

## Introducción

Si se realiza en apretada síntesis una valoración general del desarrollo de la minería iberoamericana, se aprecia que estos países presentan realidades diferentes. Históricamente, han sido productores y exportadores de minerales y metales, cuyo aporte al consumo de sus recursos naturales es modesto. Este escenario posee una minería dinámica, con nuevas tecnologías, con renovado ímpetu modernizador en lo económico, ambiental y social, con una rentabilidad privada posiblemente atractiva y con mayor recaudación potencial de impuestos por parte de los estados. De aquí que debería ser más favorable como

contribución al desarrollo sostenible, que el de años atrás, [MMSD, (2003)].

Dada la variedad de las características de cada escenario minero y la complejidad de los procesos de minado, se hace necesario desarrollar y hacer operativo un sistema de indicadores basado en la necesidad de contar con una información adecuada para la toma de decisiones y para darle seguimiento a las mismas en aras de alcanzar el desarrollo sostenible y; satisfacer las demandas de información sobre los problemas económicos, ambientales y sociales existentes en cada caso concreto. En la minería mundial y en la iberoamericana en particular, se tratan una serie de indicadores geológicos, mineros, ambienta-

les, y técnico-económicos, pero hasta la fecha no se han logrado integrar a través de un sistema de indicadores de sostenibilidad.

## **Materiales y métodos**

### ***Metodología para la formulación del Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS)***

En la literatura se pueden encontrar diversos marcos de análisis para la organización de los indicadores, (analítico, estructural promedio, sectorial, causal y el enfoque especial), [Guerrero y Guardado, (2003)]. Para el diseño metodológico de un Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS), que responda a las condiciones mineras de los países iberoamericanos, se consideró necesario primeramente, estudiar los procesos y fenómenos que inciden en dicha minería, a través de la recogida y procesamiento de la información, donde se aplicaron métodos teóricos, empíricos y estadísticos.

Además de especialistas nacionales, se consultaron a 100 expertos de 14 países en todo el mundo. Esta labor se ejecutó a partir de contactos directos, en reuniones de 4 redes internacionales pertenecientes al programa CYTED; (Ordenamiento Territorial, Geomecánica, Pequeña minería y la pre-red sobre Indicadores de sostenibilidad), así como en los diferentes eventos donde se han expuesto los resultados de esta investigación. Otra forma empleada, fue a través de intercambio de información por vía electrónica.

## **Resultados**

El diseño del Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS), para la minería iberoamericana se inicia con la propuesta de una metodología (Ver Figura 1), que permite identificar los principales problemas que influyen en la sostenibilidad de cada escenario minero. Esta metodología se basa en organizar a partir de los resultados obtenidos del diagnóstico territorial realizado en cada país, diferentes grupos de investigación, los cuales van a colaborar en la identificación de las afectaciones y problemas existentes en las minas, analizar el comportamiento de los indicadores tradicionalmente empleados en la minería, la selección del Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS), su valoración y procesamiento de los resultados finales.

### ***Organización de grupos de investigación***

Es el primer paso del acercamiento a las unidades

mineras y las comunidades para elaborar un Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS). Esta actividad se inicia con el diagnóstico de los procesos tecnológicos mineros de cada escenario, (exploración, desarrollo, extracción, acarreo, mantenimiento, beneficio); para lo cual se toma como muestra el comportamiento de la minería en un período determinado.

Para la organización de los grupos investigativos, es necesario identificar los actores y organizaciones claves, para lo cual se establecerán contactos con los trabajadores y directivos mineros a través de reuniones, consultas, entrevistas, conferencias y talleres donde se organizan, según las características de cada escenario, los diferentes grupos de especialistas que trabajarán durante el diseño del Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS).

### ***Identificación de problemas y objetivos***

Un proyecto de desarrollo de indicadores de sostenibilidad para la minería, en parte, se basa en la carencia de soluciones a los problemas que se presentan durante la explotación de un yacimiento determinado. La realización de la identificación de los problemas relevantes de los escenarios a valorar se llevará a cabo sobre la base de los datos disponibles en cada unidad minera, y la reducción de listas, teniendo en cuenta el nivel de incidencia de cada afectación al proceso productivo.

Con la identificación de los problemas, se realiza la definición de los objetivos de trabajo, donde se tiene en cuenta la planeación estratégica de la unidad minera en la etapa analizada; labor que está dada según las características intrínsecas del sistema y constituye una pieza esencial de carácter socio-política. Estas actividades deben llevarse a cabo a través de un proceso interdisciplinario, interinstitucional y abierto, sobre la base del diagnóstico minero territorial.

### ***Estructura analítica del Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS) y selección de los temas***

La definición del marco analítico es una labor de carácter más técnico, pero al igual que la selección de temas está determinada por los objetivos sociales del sistema geo-minero y por el proceso de información y toma de decisiones a que va dirigido. Se incorporarán aquellas temáticas y se enfocarán de forma tal que los objetivos, valores y metas respondan a la misión, visión y política social de la unidad geo-minera de manera que queden satisfactoria-

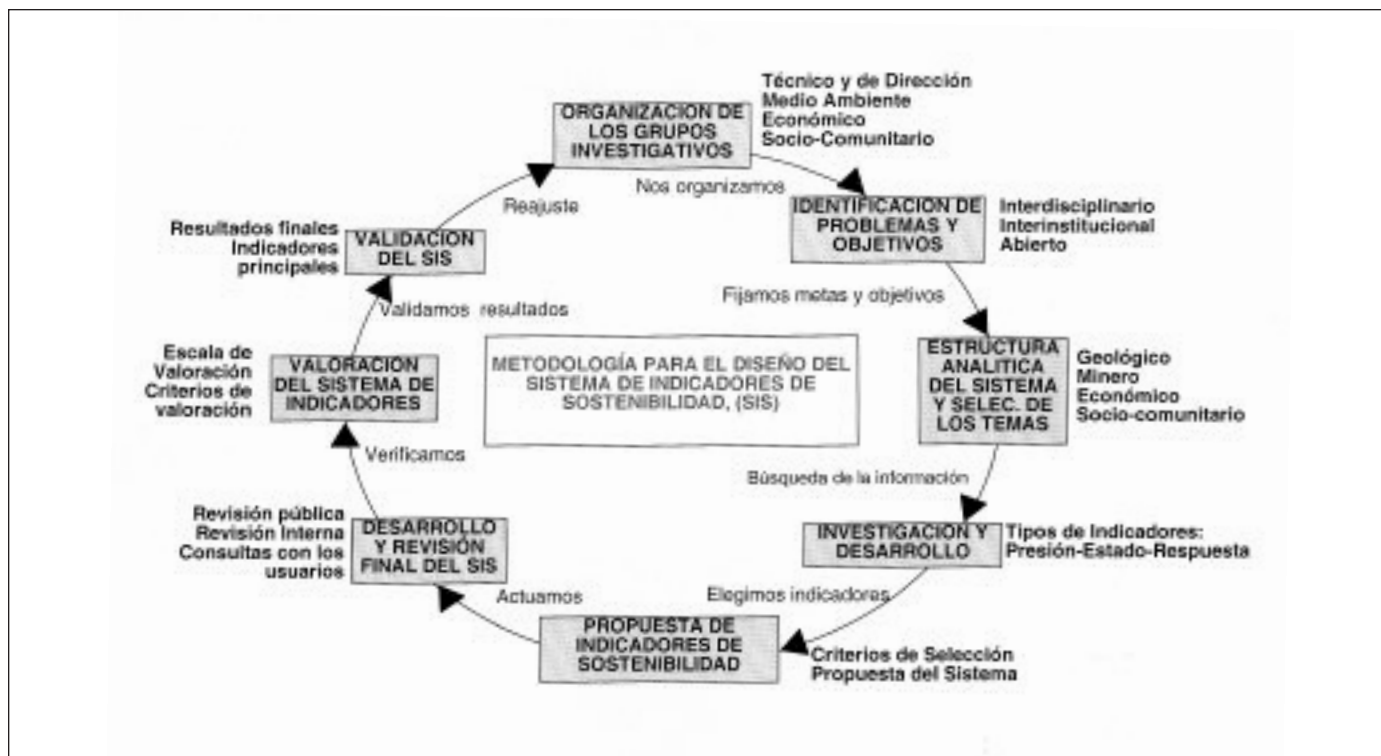


Fig. 1. Metodología para el diseño del Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS). Guerrero (2003)  
 Fig. 1. Methodology for the design of a System of Sustainability Indicators (SSI). Guerrero (2003)

mente resueltos todos sus elementos. Esta fase es particularmente importante pues fija el núcleo explicativo básico del sistema y determina el ámbito explicativo y la posibilidad de interpretación de los indicadores.

### Investigación y desarrollo

Una vez fijado el núcleo de temas se inicia el proceso de investigación y recopilación de información en torno a las relaciones causales conocidas en cada caso, mediante la revisión de datos la información bibliográfica y las discusiones de expertos.

A partir de esta investigación se genera un modelo causal simple del tipo, presión, estado, respuesta y sostenibilidad, (similar al difundido por la OECD, en 1993), con lo cual se investiga la disponibilidad de información relacionada con el modelo. En las primeras fases se tratan de captar en profundidad las relaciones causales y con ello los indicadores que mejor puedan determinar cuales son las condiciones reales del medio y las tendencias de su estado. Esta etapa culmina con el diseño del modelo de indicadores de Presión-Estado-Respuesta a partir de la adaptación en cada escenario minero.

Los indicadores de Presión en la minería iberoamericana, pueden identificarse con el uso de tecnologías de exploración, explotación y el proceso de mineralurgia. Definen la acción o actividad minero-metalúrgica para cumplimentar este objetivo. Los indicadores de Estado definen los cambios resultantes en la calidad de los recursos naturales, se identifican con las características y propiedades geológico-mineras del macizo rocoso, así como con las afectaciones a los componentes del medio ambiente. Los Indicadores de Respuesta representan el monitoreo de las acciones tomadas a todos los niveles (locales, regionales o nacionales), desde las etapas iniciales de la minería hasta su cierre definitivo; lo que contribuye a la formulación de opciones para trabajos futuros en término de la adopción de programas de conservación y uso racional y sostenible de los recursos naturales.

### Propuesta de indicadores de sostenibilidad

Una vez superada la fase anterior, se realiza una propuesta de indicadores, para lo cual se aplican criterios de selección propios del sistema sin que se establezcan prioridades en esta fase. Adquieren gran impor-

tancia como criterios de selección, la disponibilidad y adecuación de datos, su validez científica y la representatividad. La identificación de los indicadores de sostenibilidad se realiza aplicando en cada escenario minero, aquellos métodos científicos que permitan obtener la información más confiable y actualizada de la situación minera.

Para ello, se parte del análisis del Geopotencial, (GP); entendiéndose éste como: "la capacidad que tiene el territorio de ofrecer la totalidad de recursos y de restricciones inherentes al conjunto de elementos del sistema natural y el sistema antropogénico y la medida de su importancia tanto patrimonial o de conservación, como estratégica o de producción económica y de sensibilidad o afectación potencial del medio y la sociedad".

Los recursos son principalmente geológicos, (potencial geológico) y ambientales, (potencial ambiental). Esta nueva concepción incluye además a las excavaciones mineras y tecnología de explotación, (potencial minero), así como las relaciones sociales y económicas, (potencial socio-económico), desarrolladas como consecuencia de la explotación minera de un yacimiento determinado, [Guerrero, *et al.*, (2002, 2003, 2005)].

El Potencial Geológico (PG), está relacionado con la capacidad que tiene el territorio de ofrecer recursos minerales con calidad, cantidad y en condiciones de explotabilidad que favorezcan su aprovechamiento minero. Constituye un factor básico ya que refleja el tipo del relieve, la constitución, estado y estructura geológica, propiedades físico mecánicas de las rocas y el mineral, así como las amenazas y riesgos geodinámicos de una región determinada.

El Potencial Ambiental (PA), está relacionado con la incidencia de la actividad minera sobre el medio ambiente. Entre los elementos que se tienen en cuenta para la determinación de los indicadores de este potencial se destacan la flora, fauna, aire, agua, los suelos y el paisaje.

El Potencial Minero (PM), se identifica con la explotación de los recursos minerales. Tiene como objetivo valorar la explotación minera y su incidencia en las comunidades y el medio natural. Para su determinación se tienen en cuenta los procesos tecnológicos de exploración, desarrollo, explotación, carga y transporte, tratamiento y beneficio de minerales.

El Potencial Socio-Económico (PSE), se identifica con la capacidad que tiene la sociedad para relacionarse con el sistema natural y transformar sus recursos en bienes y servicios con el fin de reproducir mejores condiciones de vida, pero sin forzar al medio

natural y antropogénico por encima de su disponibilidad real, [Molina, (2002)]. Está relacionado con la cantidad de trabajadores; su nivel profesional; las comunidades vecinas, los costos de producción y el mercado.

### ***Desarrollo y revisión final del Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS)***

En esta fase los criterios más próximos a los usuarios adquieren relevancia aunque los aspectos conceptuales y de validez científica siguen vigentes. Después de la revisión empresarial y pública, se inicia una nueva ronda interna de revisión y consulta externa significativa con los grupos y expertos. En esta fase los criterios relacionados con el uso final de los indicadores de sostenibilidad se vuelven prioritarios.

El resultado de esta etapa es el conjunto de indicadores propuestos como representativos de las preocupaciones empresariales y sociales del estado del medio. Además de señalar la relevancia del proceso de elaboración del Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS), dentro del conjunto, merece la pena indicar la importancia que adquieren los aspectos participativos en esta fase del proceso.

### ***Valoración del Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS), para el proceso de toma de decisiones***

El Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS), ya definido entrará a formar parte del ciclo de toma de decisiones de la empresa, para alcanzar el desarrollo minero sostenible. Su utilización es necesaria emplearla dentro del proceso de información y toma de decisiones de la mina para establecer prioridades en la obtención de datos. Por sus características propias, sólo tendrá éxito si pasa por una profunda valoración geo-minera o sociopolítica institucional y será eficaz en la medida en que sus usuarios finales, validen cada uno de los momentos en los que la decisión tiene un carácter eminentemente minero sostenible.

Además de este valor, a cada indicador se le asigna un coeficiente de ponderación o peso, que permite determinar su importancia con relación a los demás. Dichos coeficientes deben ser resultado del consenso entre los profesionales que participan en el análisis. Para su determinación se deben estudiar los principales objetivos de los procesos tecnológicos de cada unidad minera, a partir del trabajo en grupo y el uso de su documentación técnica.

### **Validación del Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS)**

La evaluación del Sistema de Indicadores de Sostenibilidad es un proceso a través del cual se recoge e interpreta, formal y sistemáticamente la información pertinente sobre un programa de desarrollo minero sostenible. Se producen juicios de valor a partir de esa información y se toman decisiones conducentes a mantener, proyectar, reformar o eliminar los elementos del sistema o su totalidad. Para esto se requiere: validar y hacer explícito el sistema de indicadores; comprobar e interpretar sus logros y mejorar el sistema.

Para valorar lo realizado hasta el momento, se deben tener en cuenta los siguientes criterios: logros del proyecto; principales obstáculos encontrados, efectividad del sistema para la identificación de problemas, perspectivas futuras, presencia de capacidad organizativa necesaria para seguir actualizando los datos; nuevos retos y las nuevas acciones y estrategias a llevar a cabo.

Para cumplir esta etapa, es importante retomar las anteriormente señaladas y verificar qué se ha hecho bien o mal. Esto no es el fin del proceso, el desarrollo de indicadores de sostenibilidad para la minería, es un proceso circular, lo que implica que deben repetirse las etapas que así lo requieran. Una revisión periódica de cada una de ellas, es necesario ya que la minería se encuentra en constante cambio y evolución en tiempo y espacio. En el mejor de los casos, algunos de los problemas detectados son resueltos en un breve período de tiempo y por tanto los indicadores relacionados con ellos tienden a disminuir su nivel de incidencia en el proceso, otros nuevos aparecen o se hacen visibles; sin embargo, la lista básica de los indicadores no cambia muy a menudo.

De esta manera, el proceso que conforma el Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS), permitirá establecer procedimientos para certificar públicamente la calidad que reúne, dentro de la entidad geólogo y minería. La información suministrada, posibilita la toma de decisiones con calidad, seguridad y rapidez. En esta etapa la validación del sistema es un voto de confianza sobre la suerte y futuro del sistema en un contexto de desarrollo minero sostenible, constituyendo así un requisito básico.

### **Conclusiones**

La metodología propuesta para el diseño del Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS), permite iden-

tificar los principales problemas que influyen en la sostenibilidad de los escenarios mineros iberoamericanos.

La metodología demostró la necesidad de la aplicación del Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS), en el proceso de información y toma de decisiones y sirve para mostrar las lagunas de conocimiento existente en cada escenario minero iberoamericano objeto de estudio.

### **Referencias**

- Blanco Torrens, R., Wátson Quesada, R. y Guerrero Almeida, D. 2000. Abandono y Cierre de Minas. En: *Cierre de Minas: experiencias en Iberoamérica*. Edit: CYTED/IMAAC/UNIDO. Río de Janeiro, Brasil, p. 274-286.
- Guerrero Almeida, D. y Blanco Torrens, R. 2002. General Criteria of the Sustainability for Mining Activity. En *Indicators of Sustainability for the mineral extraction industry*. Río de Janeiro: CNPq/ CYTED, p. 89-110.
- Guerrero Almeida, D. 2003. Sistema de indicadores mineros para la explotación sostenible de los yacimientos minerales. Tesis presentada en opción al título de Doctor en Ciencias Técnicas. Facultad de Geología y Minería del ISMMM. Centro de Información Científico Técnica. 257 p.
- Guerrero Almeida D., Guardado Lacaba, R. y Blanco Torrens, R. 2005. Propuesta metodológica para el diseño de Sistemas de Indicadores de Sostenibilidad (SIS), en regiones mineras de Iberoamérica. CD Memorias. Trabajos y Resúmenes. *1ª Convención Cubana de Ciencias de la Tierra*. La Habana, Cuba.
- Molina, E.J. 2002. Los recursos minerales y la minería como componente del medio físico en la planificación territorial en Colombia. En: *La minería en el contexto de la ordenación del territorio. Capítulo II. Geopotencial*. Edit: CNPq/CYTED. Río de Janeiro. p: 171-195.
- Mining Minerals and Sustainable Development Project, (MMSD) 2002. *Minería, Minerales y Desarrollo Sostenible en América del Sur*. Equipo de América del Sur. CIPMA, IDRC-IIPM. 624 p.
- OECD 1993. Organization for economic Cooperation and Development Core Set of Indicators Environmental Performance Review. A Synthesis Report by the group on the State of the environment. París. Francia.

Recibido: julio 2005

Aceptado: marzo 2006