

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO

Dr. Antonio Núñez Jiménez

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

DEPARTAMENTO DE MINERÍA

**SISTEMA DE INDICADORES MINEROS PARA LA EXPLOTACION SOSTENIBLE DE LOS
RECURSOS MINERALES**

**TESIS PRESENTADA EN OPCION AL GRADO CIENTÍFICO DE DOCTOR EN CIENCIAS
TECNICAS**

RESUMEN

AUTOR: Ing. DIOSDANIS GUERRERO ALMEIDA

TUTORES: Dr. C. RAFAEL GUARDADO LACABA

Dr. C. ROBERTO CIPRIANO BLANCO TORRENS

Moa, 2003

INTRODUCCIÓN

Los indicadores de sostenibilidad en la minería constituyen una herramienta fundamental para alcanzar el desarrollo minero sostenible deseado. Se elaboran para medir el progreso alcanzado en este sector, con el propósito de servir de base para brindar la información clara y precisa, promover la preocupación necesaria, y la toma de decisiones; representan un valor de información acerca del estado, tendencia o cambio del ambiente y la actividad minera.

Estos indicadores, relacionan la actividad geológico - minera, con lo económico-social y la ambiental, brindando el estado sobre el deterioro, la contaminación del medio y la calidad de vida de la población generado por la actividad minera.

En los últimos años estos instrumentos han adquirido relevancia, justamente porque brindan la imagen sintética del conflicto entre la minería y el ambiente, facilitando la formación de opinión a la hora de tomar decisiones al organizar, proyectar, extraer y rehabilitar los terrenos de extracción del mineral útil.

Por esta razón, el desarrollo de un sistema integral de indicadores de sostenibilidad (SIS), en el contexto minero debe constituir un proceso de fundamento científico claro y a la vez con un contenido socio-político expresamente reconocido.

El presente trabajo representa un paso adelante para lograr el desarrollo minero sostenible en Cuba. Constituye el resultado de las investigaciones realizadas en la región oriental de Cuba, a partir del conocimiento de la actividad minero-metalúrgica y de la experiencia tanto nacional como internacional adquirida en este sentido; lo que fundamenta un SIS, como proceso dinámico y cambiante en el que deben participar todas las partes interesadas: empresas mineras, comunidad, administraciones territoriales, instituciones y organizaciones científicas, ambientalistas y otros.

Como enfrentar algunos de estos retos, es el tema tratado en este trabajo, el cual está basado en experiencias adquiridas por el autor durante las investigaciones realizadas en minas activas e inactivas ubicadas en la parte oriental de Cuba. De igual manera, se visitaron diferentes entidades mineras de otras partes del mundo, con lo cual se logró profundizar en el objeto de estudio.

Objeto de estudio

La explotación de los recursos minerales.

Problema

La necesidad de proyectar la explotación sostenible de los recursos minerales a través de un sistema de indicadores.

Hipótesis

Si se emplea como herramienta un sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS), y éste se define sobre la base de las relaciones esenciales; capacidad de acogida - geopotencial, macizo – ambiente, se contribuirá al desarrollo de proyectos mineros sostenibles.

Objetivo general

Diseñar un sistema de indicadores que permita proyectar la explotación sostenible de los recursos minerales.

Objetivos específicos

1. Realizar un diagnóstico del geopotencial de las minas Comandante Ernesto Che Guevara y Las Merceditas como estudio de casos.

2. Diseñar una metodología que permita la implementación del sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS).
3. Aplicar el sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS), como componente metodológico para la proyección de la explotación sostenible de los recursos minerales.

La elección de los métodos de trabajo fue basada en la necesidad de seguir la secuencia lógica que imponen los procesos de identificación, caracterización y valoración de los impactos ambientales ocasionados por la explotación minera en cada escenario objeto de estudio, así como la estructuración de los lineamientos metodológicos para el diseño y aplicación del sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS).

Tomando en consideración lo antes expresado, con el objetivo de determinar el basamento teórico que sustenta este trabajo, se realizó un análisis de los métodos científicos generales. Como resultado, se evidenció que la teoría general de los sistemas, responde en mayor grado a los requerimientos de la investigación realizada.

Entre los métodos particulares que se han puesto en práctica están los métodos de pronósticos, de tipos cualitativos; la valoración de criterios, Delphi, revisión de listas, Caoru Ishikagua, matricial, estudio de casos, entrevistas, y encuestas.

Tal elección se sustenta en el hecho de que los fenómenos a investigar influyen sobre varios sistemas relacionados entre sí, los cuales presentan características particulares que pueden ser identificadas a partir de estos métodos, que se identifican por tener en cuenta múltiples factores, que influyen o se relacionan con la variable que se necesita pronosticar. De ahí que, autores como [Herrera, (1985), Zayas, (1990), Gallagher y Wátson, (1997)] y otros, los consideren muy útiles por su poder descriptivo y explicativo y por operar a partir de los valores pasados de la variable que se pronostica.

En el desarrollo de la investigación se emplearon los estudios de la Consultora CESIGMA División América, así como los trabajos relacionados con la caracterización minero ambiental existente en el territorio que fueron suministrados por la dirección de las empresas mineras objeto de estudio y que caracterizan la situación minero ambiental del territorio.

Esta bibliografía se puede catalogar de variada y abundante, justificada por el gran interés que desde el punto de vista económico revisten los recursos minerales de la región. Resulta necesario aclarar que la bibliografía especializada sobre indicadores es muy escasa.

Resulta evidente la necesidad de profundizar en los aspectos relacionados con la temática objeto de estudio, no sólo por la importancia de los impactos ambientales que se producen, sino para adecuar sus actividades a las nuevas tendencias en materia de desarrollo sostenible, de la Unión del Níquel, al Ministerio de la Industria Básica (MINBAS) y el país.

Si bien estos desafíos estuvieron presentes en todo el proceso de realización del proyecto, se decidió trabajar en torno a las prioridades del país y la región en el diseño de un sistema de indicadores que permita una mejor gestión y proyectar la explotación sostenible de los recursos minerales. El proyecto desarrollado entiende que el desarrollo sostenible no es un estado que se pueda llegar, sino mas bien un proceso, cuyas prioridades y formas de abordaje varían de acuerdo con los contextos nacionales y locales.

Se reconoce que se trata de recursos no renovables y por tanto se pone énfasis en la continuidad del desarrollo (especialmente local y regional) que genera la industria minera (entendiendo esto como la capacidad de construir capital humano y social que perdure aún después del eventual agotamiento de los recursos).

Se apunta a una visión a largo plazo, *versus* corto plazo, y al alcance regional y nacional, en contraposición a lo estrictamente local, que se debe tener en cuenta al pensar en el desarrollo sostenible. Es necesario señalar que el proyecto no tuvo entre sus metas decidir si la minería y el uso de los minerales son, o no, sostenibles. Tampoco fue central la pregunta de sostenibilidad de la minería.

La investigación se centró en tratar de identificar cómo la minería puede aportar al desarrollo más sostenible y equitativo de la región y el país basado en el manejo de indicadores mineros sostenibles.

Dar a conocer conceptos de desarrollo sostenible resulta difícil, pero no es imposible medir el grado de sostenibilidad de la explotación minera; [Echevarría, (2001)]. ¿Cómo encontrar entonces, un procedimiento para determinar ese grado de sostenibilidad y, por tanto, estar en condiciones de evaluar desde esa óptica las políticas de desarrollo minero de los sistemas productivos?.

A partir de esta interrogante, el autor trabajó en el diseño de un sistema de indicadores de sostenibilidad, que reflejan características o cualidades significativas y combinadas para obtener índices numéricos de tal forma que proporcione una base útil en la toma de decisiones en relación con las políticas ambientales y de desarrollo minero.

Estos indicadores pueden servir para determinar un accionar hacia la sostenibilidad de la empresa o una evolución de ésta, hacia una situación de mayor o menor grado de sostenibilidad. Los **alcances** de la investigación son:

1. La metodología para el diseño de un sistema de indicadores de sostenibilidad que permite la proyección del desarrollo minero sostenible.
2. La valoración del geopotencial de territorio de uso minero.
3. El sistema de indicadores para la explotación minera sostenible de los recursos minerales.

Estos resultados le permiten a las unidades mineras del país y en particular las empresas Comandante Ernesto Che Guevara, y CROMOMOA, del Ministerio de la Industria Básica (MINBAS), gestionar y proyectar sus estrategias de trabajo para alcanzar el desarrollo minero sostenible.

Constituyen el punto de partida al conjunto de medidas que se deben emprender con vista a la recuperación de los indicadores de calidad ambiental, contribuyendo así, a la disminución de la presión que actualmente existe sobre los elementos del medio ambiente por parte del objeto de estudio, propiciando la continuidad de las actividades productivas y la protección del entorno.

Como **novedad científica** de la investigación se mencionan los siguientes aspectos:

1. Constituye un nuevo documento de referencia teórica relación con el desarrollo sostenible de la minería cubana.
2. El sistema, permite proyectar y tomar decisiones encaminadas a alcanzar el desarrollo minero sostenible, siendo de gran utilidad para otras ramas y sectores de la economía.
3. La aplicación del sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS), a partir del análisis y estudio de casos, tomando como punto de partida la adaptación del concepto de desarrollo sostenible a las condiciones concretas de los lugares estudiados.

Finalmente, se define el marco de análisis utilizado en el sistema propuesto, las áreas mineras seleccionadas y sus temas respectivos, lo que se recoge mediante una exposición a través de tablas, figuras fotos y anexos.

Se brinda un conjunto de indicadores de presión, estado o respuesta, indicando la disponibilidad de información y la necesaria toma de decisiones.

El sistema de indicadores diseñado, ha sido aplicado como caso de estudio, en las minas Comandante Ernesto Che Guevara y Las Merceditas y puede utilizarse en otros proyectos mineros que así lo consideren necesario. En la tesis se resumen las principales bibliografías consultadas durante el desarrollo de la investigación.

Divulgación del tema

El autor ha publicado varios artículos y presentado trabajos relacionados con este tema en diferentes eventos nacionales e internacionales. Estos trabajos son:

1. Impacto ambiental sobre el medio ambiente de la actividad minera subterránea. En *III Taller Internacional de la Protección del Medio Ambiente*. [CD-ROM]. Moa, Cuba, 1999. 15 p.
2. Diseño de un método de explotación subterránea sostenible para la mina El Cobre. En *IX Conferencia Científica del Centro de Investigación de las Lateritas, (CIL)*. [CD-ROM]. Moa, Cuba, 1999. 25 p.
3. Aprovechamiento de técnicas topográficas para el desarrollo sostenible. En *IX Conferencia Científica del Centro de Investigación de las Lateritas, (CIL)*. [CD-ROM]. Moa, Cuba. 1999.
4. Abandono y cierre de minas. En *Jornada Iberoamericana sobre Cierre de Minas*. Santa María de la Rabida, 2000. Disponible en: <http://200.20.105.7/cyted-xiii/publicaciones.htm>
5. Abandono y cierre de minas. En *I Jornadas Iberoamericana sobre Cierre de Minas del CYTED. Panorama Minero*. Edición 253 [CD-ROM]. Buenos Aires, 2000a.
6. Abandono y cierre de minas. En *Cierre de Minas: experiencias en Iberoamérica*. Río de Janeiro: CYTED/IMAAC/UNIDO., 2000b. p. 274-286.
7. Perfeccionamiento de la variante de explotación para el yacimiento Merceditas.. En *IV Congreso Internacional de Geología y Minería*. [CD-ROM]. La Habana, 2001.
8. Importancia del cierre de minas para alcanzar el desarrollo sostenible. En *III Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Desarrollo sostenible: Realidad o sueño a 10 años de la Cumbre de Río*. [CD-ROM]. La Habana, 2001.
9. Criterios generales para alcanzar el desarrollo sostenible en la actividad minera. En *III Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Desarrollo sostenible: Realidad o sueño a 10 años de la Cumbre de Río*. [CD-ROM]. La Habana, 2001.
10. Propuesta de variante de explotación para la mina Las Merceditas. En *III Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Desarrollo sostenible: Realidad o sueño a 10 años de la Cumbre de Río*. [CD-ROM]. La Habana, 2001.
11. Importancia del cierre de minas para alcanzar el desarrollo sostenible. En *III Encuentro Nacional de Derecho Minero. IV Encuentro Latinoamericano y del Caribe de Legislación Minera*. [CD-ROM]. Buenos Aires, 2001.
12. Criterios Generales para alcanzar el desarrollo sostenible en la actividad minera. En *III Encuentro Nacional de Derecho Minero. IV Encuentro Latinoamericano y del Caribe de Legislación Minera*. [CD-ROM]. Buenos Aires. 2001.
13. Perfeccionamiento de la variante de explotación para la mina Las Merceditas. En *X Conferencia Científica del Centro de Investigación de las Lateritas, (CIL)*. [CD-ROM] Moa, Cuba, 2001.

14. Impacto del cierre de minas sobre las comunidades mineras. En *I Conferencia Internacional sobre Comunidades Mineras*. [CD-ROM] . Moa, Cuba, 2002(a).
15. Impacto socio-económico y ambiental de la aplicación de variantes de explotación mineras sostenibles en algunos yacimientos de la región oriental de Cuba. En *I Conferencia Internacional sobre Comunidades Mineras*. [CD-ROM] Moa, Cuba, 2002(b).
16. Aprovechamiento de las minas abandonadas en beneficio de la comunidad. En *I Conferencia Internacional sobre Comunidades Mineras*. [CD-ROM], Moa, Cuba, 2002(c).
17. Ventajas con la utilización del método de explotación de minería por chimeneas para la explotación de la mina Las Mercedes. En *III Conferencia Internacional de Aprovechamiento de Recursos Minerales, CINAREM-2002*. [CD-ROM] Moa, Cuba, 2002
18. Criterios generales de sostenibilidad para la minería. Disponible en <http://200.20.105.7/cyted-xiii/publicaciones.htm>. Junio del 2002
19. Criterios generales de sostenibilidad para la actividad minera. En *Indicadores de sostenibilidad para la industria extractiva mineral*. Río de Janeiro: CNPq/CYTED, 2002, p. 93-115
20. General Criteria of the Sustainability for Mining Activity. En *Indicators of Sustainability for the mineral extraction industry*. Río de Janeiro: CNPq/CYTED, 2002, p. 89-110
21. Para un desarrollo sostenible en la minería. *Cimientos*, Año3. (5): 43- 45, La Habana. 2002
22. Aplicación de un sistema de indicadores de sostenibilidad para el ordenamiento territorial en regiones mineras para la industria minera. En *I Reunión Iberoamericana de la Red-CYTED XIII-E, "Ordenamiento del territorio y Recursos Minerales"*. ISMM. Moa. Cuba. 24-26 de Nov. 2002. Disponible en: <http://200.20.105.7/cyted-xiii/publicaciones.htm>. Junio del 2002
23. Propuesta del sistema de indicadores de sostenibilidad para la industria extractiva minera. En *V Congreso Internacional de Geología y Minería*. [CD-ROM] La Habana, 2003
24. La conservación del patrimonio geológico y minero como medio para alcanzar el desarrollo sostenible. *Minería y Geología*. 20(1). 2003
25. Propuesta de variante de explotación sostenible para el yacimiento Mercedes. *Minería y Geología*. 14(1). 2004

Principales eventos en los que el autor ha expuesto los resultados de la investigación

Eventos internacionales

1. III Taller Internacional de la Protección del Medio Ambiente. Moa, Cuba, 1999.
2. I Jornada Iberoamericana sobre Cierre de Minas. Santa María de la Rábida, Huelva, España. 2000.
3. IV Congreso Internacional de Geología y Minería. La Habana, Cuba. 2001.
4. III Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Desarrollo sostenible: Realidad o sueño a 10 años de la Cumbre de Río. La Habana, Cuba. 2001
5. III Encuentro Nacional de Derecho Minero. IV Encuentro Latinoamericano y del Caribe de Legislación Minera. Buenos Aires. Argentina. 2001.
6. I Reunión Iberoamericana de la RED-CYTED XIII-D. Moa, Holguín, Cuba. 2001.
7. I Conferencia Internacional sobre Comunidades Mineras. Moa, Febrero del 2002.

8. III Conferencia Internacional de Aprovechamiento de Recursos Minerales, CINAREM-2002. Moa, Mayo del 2002.
9. I Reunión Iberoamericana de constitución de la RED sobre Indicadores de Desarrollo sostenible para la Industria Extractiva. Amazonia Oriental, Carajás, Brasil. Julio 2002.
10. I Reunión Iberoamericana de la Red-CYTED XIII-E, Ordenamiento del territorio y Recursos Minerales , ISMM. Moa. Cuba. Nov. 2002.
11. V Congreso Internacional de Geología y Minería. La Habana. Cuba. Marzo 2003.

Eventos nacionales

1. Jornadas Científicas Estudiantiles. Moa, Holguín, Cuba. 1999.
2. IX Conferencia Científica del Centro de Investigación de las Lateritas, (CIL). Moa, Holguín, Cuba. 1999.
3. XII Forum de Base y Municipal de las Brigadas Técnicas Juveniles. Moa, Holguín, Cuba. Febrero y Marzo del 2000.
4. X Conferencia Científica del Centro de Investigación de las Lateritas, (CIL). Moa, Cuba. 2001.
5. XV Forum de Base de Ciencia y Técnica del ISMM. Moa. Cuba. Julio -2003.

CAPITULO I. MARCO TEORICO CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACION

I. 1 Estado actual de esta problemática en el mundo

Entre las primeras discusiones efectuadas en torno al tema se señalan las de 1972, año en el cual fue celebrada en Estocolmo, Suecia, la Conferencia sobre Medio Ambiente Humano, donde por primera vez se discute el concepto de desarrollo sostenible, [Barreto, (2001a y b)]. Cuatro años después, en 1976, fue desarrollada la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Asentamientos Humanos, la que contribuyó a llamar la atención sobre el papel que desempeña la satisfacción de las necesidades básicas del desarrollo sostenible.

Es en 1985 donde se comienzan a desarrollar metodologías para la creación de indicadores ambientales. La Comisión Económica para Europa, (CEPE) de las Naciones Unidas desarrolla en esa fecha, una propuesta de sistema de indicadores medioambientales. También en ese período, los Países Bajos presentaron un sistema con un enfoque político, [Vallejo, (2000)]. En esta etapa se realiza por parte del gobierno de Canadá una propuesta de metodología para el diseño de indicadores denominada enfoque de estrés, con fines primordiales de identificar las fuentes de problemas ambientales de envergadura global y nacional en dicho país, [Daly, (1990)]. Por primera vez, se establecieron una serie de indicadores representativos del estado del ambiente.

En 1987, la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas (Comisión de Brundtland), revitalizó el concepto de desarrollo sostenible, al el Informe Brundtland, [Rodríguez da Costa, (1999)].

El 22 de diciembre de 1989, la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas, (ONU) aprobó la Resolución 44/228, que convocó a una reunión mundial sobre temas del desarrollo y el medio ambiente, [Munasinghe, (2000)].

Uno de los primeros trabajos desarrollados en esta temática, ha sido la identificación de indicadores ambientales seleccionados para proporcionar el sustento empírico de los planes nacionales para la política ambiental (NEPP) en proceso de preparación desde 1989, y de las correspondientes evaluaciones de logros en los Reportes Nacionales sobre el Ambiente (NEO) en los Países Bajos, [Adriaanse (1993) y Bakkes, (1994)].

En el año 1991, previo a la Cumbre de Río se publica el informe Cuidar el planeta Tierra; una estrategia para el futuro de la vida, [UICN, PNUMA y WWF, (1991)], debatido y difundido un año después en ocasión de desarrollarse la llamada Cumbre de la Tierra, en Brasil en 1992. En la Conferencia de Río, Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y cinco años después en 1997 en la de Nueva York, se retoma este tema, centrándose la atención en los vínculos y dependencia del desarrollo económico y social de la protección del medio ambiente y del uso racional de los recursos naturales. Durante la Cumbre Mundial de Río, el Consejo Empresarial para el Desarrollo Sostenible (BCSD), enfatizó que: "el comercio y la industria necesitan herramientas para ayudar a medir el desempeño ambiental y desarrollar técnicas de gestión ambiental", [CEPIS,(2001)].

En respuesta a tales necesidades, la orientación de la Organización Internacional de Normalización, (ISO), fue especialmente requerida en el campo ambiental la cual priorizó lo relacionado con la evaluación de los aspectos que planteaban grandes desafíos ambientales, para lo cual se estableció un Grupo de Asesoría Estratégica sobre temas ambientales (SAGE), [IIED, (1998)].

En 1993 siguiendo las recomendaciones de la SAGE, se creó el Comité Técnico 207 sobre Gestión Ambiental de la ISO para desarrollar normas en las áreas de gestión ambiental, auditoría ambiental, etiquetado ecológico, evaluación del ciclo de vida, términos y definiciones, entre otras, con lo cual se da un importante paso evolutivo para la identificación de indicadores de desarrollo sostenible, (IDS). [CEPYS,(2001)]. Otra de las instituciones internacionales creada para cumplir este propósito lo constituye la Comisión de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible (CNUDS), oficializada en esa etapa a nivel de la ONU, [UN-CSD, (1993)].

En 1993 fue propuesta y lanzada al debate internacional por la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo, (OECD), una nueva metodología para el diseño de IDS. Esta ha sido denominada enfoque de Presión-Estado-Respuesta (PER); [OECD, (1991, 1994 y 1999)]. Esta metodología es la más conocida y aceptada en el debate internacional y ha sufrido diferentes modificaciones e interpretaciones, [SCOPE, (1996)]. Simultáneamente varios países hicieron lo propio, destacándose los sistemas de indicadores nacionales de Estados Unidos, Canadá, La Unión Europea y Australia. En Estados Unidos en particular también se han generado sistemas de indicadores estatales. [Nieto, (2002)]. Desde 1994, el Departamento de Coordinación de Políticas del Desarrollo Sostenible (DPCSD) de la ONU, ha sido responsabilizado con la coordinación técnica de estas ambiciosas iniciativas.

En 1995 se presentó la iniciativa de IDS de la CNUDS siguiendo el marco PER, pero modificándolo por una terminología llamada Fuerza de Impulso-Estado-Respuesta (F-E-R), donde se incluye además el postulado de que no se parte de la existencia de una relación causa-efecto entre los distintos elementos agrupados bajo F, E y R, respectivamente, [Spangenberg, (1996)]. Similar versión es el llamado Presión-Estado-Impacto/Efecto-Respuesta (P-E-I/E-R), que ha sido desarrollado por Winograd (1995, 1997), para el proyecto de indicadores del CIAT/PNUMA para América Latina. En este mismo año, fueron realizadas otras versiones por el Comité Científico sobre Problemas Ambientales (SCOPE) y la Fundación de una Nueva Economía (NEF) en Inglaterra, caracterizadas por ser mucho más críticas, [SCOPE, (1995)].

En 1996, Spangenberg realiza nuevos aportes a estas metodologías, al introducir el concepto del espacio ambiental y sus implicaciones para los IDS y las correspondientes políticas económico-ecológicas, difundidas en los últimos años en los diseños de IDS sobre Europa Sostenible, [Friends of the Earth Netherlands, (1993)];

Friends of the Earth Europe , (1995)]. En agosto el DPCSD divulgó un voluminoso compendio, con hojas metodológicas, de indicadores ambientales, preseleccionados en 1995, [UN-CSD (1996)].

Entre los documentos e instituciones que brindan valiosa información sobre la influencia de la minería y la explotación de los recursos naturales a escala mundial, [Hammond, (1995)]; se destacan los reportes anuales o bianuales sobre el medio ambiente en el contexto del desarrollo socio-económico del Instituto Worldwatch, [Brown, (1996)], Instituto de Recursos Mundiales, [WRI, (1996, 1997)], así como el Banco Mundial inicialmente con su serie Informes sobre el Desarrollo Mundial desde 1995, entre los que se destacan el informe: Monitoreando el Progreso Ambiental, [WB, (1995)].

Al realizarse la Primera Jornada Iberoamericana sobre Cierre de Minas, en Huelva, España por el subprograma Tecnología Mineral del Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, (CYTED); se señaló la necesidad de crear indicadores que permitan, mejorar la calidad de vida de las comunidades minera, [Fernández, (2000)].

Un paso importante en el diseño de sistemas de indicadores para la industria minera, lo constituye la metodología propuesta por la Global Reporting Initiative (GRI), para la elaboración de reportes de sostenibilidad sobre las actuaciones económicas, medioambientales y sociales de las empresas mineras, la cual parte de las tres dimensiones del concepto de desarrollo sostenible y establece la necesidad de incorporar los indicadores de sostenibilidad a otras actividades humanas.

Un grupo de investigadores de la Escuela de Ingeniería del Ambiente de la Universidad de Surrey en el Reino Unido de la Gran Bretaña, liderado por Azapagic, (2000), propuso un sistema de indicadores para la industria minera; a partir del análisis del ciclo de vida de los minerales, integrado por tres componentes, (impacto ambiental, eficiencia ambiental y acciones voluntarias).

Vargas, y Forero (2000), proponen un sistema de indicadores a partir del estudio y análisis de las condiciones minero-geológicas concretas de yacimientos minerales de Colombia, con lo cual aplican una metodología que integra las dimensiones del concepto de desarrollo sostenible.

La presentación del informe del 2001 titulado Indicadores de Desarrollo Sostenible, en la reunión del Forum Económico Mundial, celebrada en Davos, (Suiza), permitió medir a nivel internacional el comportamiento de las empresas utilizando indicadores ambientales, [González, (2002)].

En este mismo sentido, en el año 2001 se aprueba el VI Programa de Acción de la Unión Europea en materia de Medio Ambiente, [CCE, (2001)]. Este documento incluye la gestión sostenible de los recursos no renovables necesarios para la gestión ambiental.

El proyecto internacional Minería, Minerales y Desarrollo Sostenible, (MMSD), destaca la necesidad del desarrollo minero sostenible a escala mundial, [Merni, (2001)].

Valencia, (2001), propone un sistemas de indicadores para la minería aurífera de Colombia basado en variables técnicas y económicas, que permiten determinar el estado de esta industria.

En el 2002 se desarrolla la reunión de PRE-RED sobre indicadores de desarrollo sostenible para la industria extractiva, en la Amazonia Oriental, en la localidad de Carajás, Brasil; promovida por CYTED-XIII. En esta ocasión fue aprobada la Declaración de Carajás, que expresa el interés internacional prestado al tema de desarrollo sostenible y su vínculo con la minería y la necesidad de implementar sistemas de indicadores que respondan a los intereses específicos de cada lugar.

Gordillo (2002), propone un sistema de indicadores de sostenibilidad basada en el estudio del proyecto Tambogrande en Perú. Martín, González y Vale, proponen indicadores de sostenibilidad para la minería, donde insertan nuevas variables, tomando en consideración la legislación ambiental y los indicadores de productividad minera.

En marzo del 2002, con motivo de celebrarse en Barcelona, la Cumbre de la Unión Europea (UE), la Agencia Europea del Medio Ambiente, (AEMA) realiza una propuesta de IDS a partir de la aplicación de la metodología de tipo PER. Para ello, la AEMA aportó datos y evaluaciones de los IDS, para medir los progresos en las dimensiones ambientales de la estrategia de desarrollo sostenible, [EEA, (2000)].

En el año 2002, se desarrolló la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible en Johannesburgo, Sudáfrica en la cual se establecen medidas específicas y concretas para solucionar los problemas que afectan a la humanidad, [CAMMA, (2002)].

Si se realiza un análisis de la evolución que ha tenido el diseño metodológico de indicadores de sostenibilidad en el mundo, y se toma como base el compendio elaborado por el Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible, (IISD), el Banco Mundial y las organizaciones anteriormente citadas en este acápite, se aprecia que hasta 1999, aparecen reconocidas en todo el mundo, 124 iniciativas diferentes de sistemas de indicadores ambientales y de sustentabilidad. Si se le agregan 4 iniciativas más reportadas en los últimos 2 años, por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos y por la OCDE, tenemos 129 en total, lo cual brinda una idea general del desarrollo y evolución que esta temática ha tenido.

I. 2 Estado actual de esta problemática en Cuba

En Cuba, esta temática es nueva y tiene como antecedentes las investigaciones realizadas por Montesino et al., (1964) y Castro, G., et al., (1964). En estos trabajos los autores realizan un análisis de las causas que condujeron al cierre de las minas de manganeso, El Cristo y Charco Redondo, respectivamente. Estos trabajos sirvieron de base al autor para el diseño del sistema de indicadores de sostenibilidad propuesto.

Durán (1984), Smirniakov y Blanco, (1987) y Gonzalo, (1997), realizan un estudio para valorar la posible utilización con otros fines de la economía de las minas subterráneas del yacimiento de cromo Moa-Baracoa.

Las investigaciones desarrolladas por Naranjo en 1987, aportan datos que posibilitan analizar el comportamiento histórico de los efectos ocasionados por la actividad minero metalúrgica sobre el medio ambiente de la región de Moa.

El estudio del Nuevo Atlas Nacional de Cuba (NANC), de 1989 resultó de notable interés dado los contenidos y datos estadísticos que este documento recoge, los cuales sirvieron para caracterizar la región objeto de estudio. La revisión de la legislación y normas nacionales e internacionales aplicables y vigentes, (Constitución de la República de Cuba, Ley 76 de Minas, Ley 81 del Medio Ambiente, Ley de Inversión Extranjera, Estrategia Ambiental Nacional, etc.), fue realizada con el objetivo de enmarcar la investigación en el contexto legal vigente.

Las investigaciones desarrolladas por Rojas (1993), permitieron conocer las características y propiedades de diferentes minerales presentes en esta región minera de Moa. Los trabajos desarrollados por Proenza (1997), Rodríguez I. (1999), Hurtado, (1999); Cartaya, (2000); Mondejar, (2001) y Rodríguez P. (2002), sobre la situación geológica y ambiental de la región y los yacimientos de cromo refractario, facilitaron la caracterización general de los escenarios mineros estudiados. Las investigaciones de evaluación del impacto

ambiental de la minería desarrolladas por Romero en 1999, reflejan los principales problemas ambientales de la industria de materiales de la construcción en las provincias de Holguín y Santiago de Cuba.

Los trabajos desarrollados por Guardado en 1997, son de notable interés, ya que en ellos el autor expone un método para evaluar e inventariar los componentes ambientales más importantes para los estudios de ordenamiento territorial de las áreas urbanas y suburbanas de la ciudad de Moa. Más adelante, Vallejo y Guardado realizan una propuesta de indicadores ambientales sectoriales para el territorio de Moa, con criterios sostenibles. En esta misma dirección, Breffe, en el 2000, realiza un interesante trabajo al estudiar el impacto socio-ambiental en la comunidad urbana de Moa.

Las investigaciones desarrolladas en el 2001 por Maden, Montero y Valdés, reflejan la necesidad de establecer indicadores de sostenibilidad que permitan medir el comportamiento de la minería y el hombre sobre la naturaleza.

I. 3 Metodología de la investigación

La investigación fue dividida en tres etapas, donde la elección de diferentes métodos de trabajo se basa en la necesidad de seguir la secuencia lógica que imponen los procesos de identificación, caracterización y valoración de los efectos que ha provocado la explotación minera sobre el ambiente, así como la elaboración de lineamientos metodológicos que permiten proyectar un desarrollo minero sostenible en Cuba, a través del sistema de indicadores de sostenibilidad, (SIS).

A partir de esta premisa, los métodos científicos particulares que fueron seleccionados y aplicados en cada etapa, son los siguientes:

- Revisión bibliográfica y procesamiento de la información: En esta etapa, se realizó el estudio y análisis bibliográfico de los antecedentes de la problemática actual vinculada con el concepto de desarrollo sostenible a escala global y sus tendencias actuales. Se determinó que los métodos a aplicar en la investigación son: la teoría general de los sistemas y los métodos de pronósticos de tipos cualitativos. Para la selección de los grupos de expertos, se utilizó un muestreo aleatorio simple, por las características de la investigación.
- Diagnóstico del geopotencial en los escenarios mineros: En esta etapa se realizó la selección, identificación y caracterización de las minas con la aplicación de una metodología diseñada para ello, dando como resultado el diagnóstico territorial. Se tomaron como base los métodos de estudio de casos, entrevistas y las encuestas, los cuales permitieron identificar los parámetros principales de cada escenario objeto de estudio.
- Diseño del sistema de indicadores de sostenibilidad y su aplicación en los escenarios de uso minero del territorio: Esta etapa constituyó el componente experimental de la investigación, la cual proporcionó la base de datos para la valoración del sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS). Se aplicaron los métodos de: revisión de listas, Caoru Ishikawa, matriciales, entrevistas, y encuestas. Finalmente, la ponderación de los distintos indicadores implicó establecer la importancia de cada uno de ellos, la cual se expresó en forma de % del valor total, donde la aplicación del método Delphi y la valoración de criterios, jugaron un importante papel.

I. 4 Base teórica de la investigación

Con el objetivo de determinar el basamento teórico que sustenta la investigación, se realizó un análisis de los métodos científicos generales. Se evidenció que la particularidad de estos métodos reside en la integridad de su

aparato conceptual. Es difícil, al nombrar cualquier concepto afirmar que pertenece exclusivamente a un determinado método.

La integridad metodológica de uno u otro enfoque científico no está condicionada por un concepto, por fundamental que sea, sino, por el sistema de ellos, por sus vínculos y relaciones con otros conceptos que forman la estructura del método, [Ibarra, (2001)]. Cada enfoque científico general es un sistema particular de los métodos correspondientes, y todos están internamente relacionados entre sí e interrelacionados mutuamente con los métodos científicos generales.

La base teórica de la presente investigación parte de la relación existente entre la explotación de los recursos minerales y la sociedad, los cuales constituyen subsistemas de otros sistemas más amplios y diferentes, pero relacionados institucionalmente entre sí, es decir, la Unión del Níquel para el caso de las minas Comandante Ernesto Che Guevara y Las Merceditas; (que a su vez pertenece al Ministerio de la Industria Básica) y las comunidades de Moa, Punta Gorda y La Melba; (las cuales forman parte del municipio de Moa).

El sistema de indicadores de sostenibilidad propuesto, se caracteriza por presentar elementos heterogéneos (como el impacto ambiental, la tecnología, las relaciones comunitarias, etc.), que inciden en cada uno de los sistemas anteriormente señalados y que es necesario tratar de forma integral e interdisciplinaria y abierta, requiriendo la búsqueda de las vías que correlacionen elementos con estas características.

A pesar de que los métodos científicos generales no pueden ser absolutizados, ni tratados como la llave maestra de todos los problemas científicos, la teoría general de los sistemas, responde en mayor grado a los requerimientos de la investigación a realizar.

Según Fedoséev (1978), el concepto sistema, en determinada relación, está muy cercano al concepto conjunto (cada sistema puede ser examinado como un conjunto) aunque, atendiendo a su naturaleza metodológica, son conceptos sustancialmente diferentes. Al formar un conjunto, los elementos iniciales son aquellos cuya selección da lugar a unos u otros conjuntos. Bertalanffy (1985), considera que esta teoría se debe basar en el estudio de datos empíricos de los objetos y a partir de estos, buscar ciertas características generales y establecer las leyes de los sistemas y su clasificación.

Ross Ashby (1985), parte del concepto del conjunto dado de todos los sistemas posibles, en el que incluye a todos los sistemas, objetos y fenómenos de la índole más diversa. Otros investigadores como Laín (2002) y algunos miembros del Centro de Investigaciones de Sistemas de Los Estados Unidos., han centrado su atención en la posibilidad de vincular el estudio de los sistemas a los métodos matemáticos.

La teoría general de los sistemas, constituye más bien un programa, que independientemente de todas las interpretaciones y variantes en que se manifiesta tiene como propósito común, integrar diversas áreas del conocimiento mediante una metodología unificada de investigación, [Mesarovich, (1996)].

En el proyecto de investigación, el carácter sistémico se manifiesta en el análisis que va desde el SIS propuesto, hasta el elemento o variable final, (indicador). Este punto de vista excluye la idea de que las propiedades de los elementos condicionan las propiedades del sistema. Es por ello que el análisis del objeto de estudio de la investigación, está relacionado con el sistema al cual pertenece.

Lo sistémico se opone a lo dividido en partes, a lo que no tiene relación, se opone al elemento; sin embargo, lo presupone y no puede prescindir ni de las partes ni de los elementos. El SIS, se concibe como una unidad,

conjunto, totalidad, ya sea de partes, elementos o subsistemas y las relaciones entre éstos se explican mediante los conceptos de vínculos, interrelación e interacción.

Tomando la totalidad del sistema como punto de partida, el SIS representa un elemento integrador de variables interconectadas, como una unidad con el medio, y como subsistema de sistemas de orden superior. De ahí que, se defina como sistema pues:

- Se considera como una determinada totalidad, de la cual se desprende por principio la imposibilidad de reducir sus propiedades a la suma de las propiedades de sus elementos componentes.
- Se tiene en cuenta su naturaleza jerárquica, considerando a cada uno de sus componentes como sistema, y al propio sistema investigado como un componente de otro sistema más amplio, confeccionando para ello los medios de análisis de cada uno de estos subsistemas.
- Se aplica el principio de multiplicidad de descripciones en la caracterización de los sistemas objetos de estudio, para obtener un conocimiento adecuado sobre los mismos, capaz de abarcar sólo determinados aspectos de la totalidad y de la jerarquía de los sistemas en cuestión.

De ahí que el diseño, valoración y validación del SIS, se realice considerándolo como elementos de un sistema más amplio, y en tanto que la solución de dicha tarea sólo es posible, a condición de tratar éste, como sistema.

CAPITULO II. DIAGNOSTICO DEL GEOPOTENCIAL EN LOS ESCENARIOS DE USO MINERO DEL TERRITORIO

II. 1 Escenario de la mina Comandante Ernesto Che Guevara

Medio geológico

El relieve está compuesto por montañas, laderas abruptas y el resto está ocupado por altiplanos. Es muy frecuente encontrar dentro del territorio la formación de barrancos en las partes altas y medias de los ríos que lo atraviesan en dirección sur a norte. El yacimiento de Punta Gorda, se enmarca en un relieve moderado, con inclinación hacia el Norte, teniendo rangos de pendientes variables, con poca complejidad para su explotación. Está representado por gabros, harzburgitas serpentinizadas.

El mineral yace en forma de capa y bolsones cuya potencia promedio es de 10-30 m, siendo la zona Sur la de mayor potencia; la potencia promedio de estéril es de 6-10 m, siendo la relación de escombro mineral aproximadamente de 0.45 m³/Tm.

La materia prima útil en el yacimiento está constituida por dos tipos de menas, que son: laterita níquelífera de balance (LB) y serpentinas blandas níquelífera de balance (SB). Las menas lateríticas de balance aunque a veces pueden aparecer con altos índices de sílice y magnesio son generalmente ricas en Fe, Ni y Co. Las rocas estériles están constituidas por las de basamento de la corteza de intemperismo, que poseen bajos contenidos de óxido de níquel (Ni 0,9%) aunque puede darse el caso de que algunas muestras tengan contenidos altos de este componente, [Espinosa y Antonio, (2000)].

Tres horizontes acuíferos aparecen en la corteza de intemperismo, (los cercanos a la superficie, de los estratos clásicos de la corteza de intemperismo de superficie y los de la serpentinita agrietada). Las fuentes principales de abastecimiento de agua al yacimiento Punta Gorda, están dadas por el río Yagrumaje.

Medio ecológico

La vegetación de la región se caracteriza por la presencia de 7 formaciones vegetales naturales: el bosque tropical ombrófilo, el bosque tropical ombrófilo de árboles latifolios y aciculifolios, el bosque tropical

ombrófilo aluvial, el bosque tropical mesófilo de baja altitud, el bosque tropical de coníferas, el matorral tropical xeromorfo espinoso, el matorral tropical xeromorfo, y el manglar. Estas formaciones vegetales ocupan alrededor de un 90 % del territorio, un 10 % está ocupado por ecosistemas de reemplazos.

En el territorio de Moa donde se ubica el yacimiento Punta Gorda, se reporta un total de 345 especies de las cuales el 92 % están en los ecosistemas naturales antes mencionados, así como 213 son consideradas endémicas que representan un 23 % del endemismo del territorio, [Maden, (2001)]. De estas especies endémicas 17 son exclusivas de Moa, 5 están en peligro de extinción y 20 son catalogadas de vulnerables a desaparición. El microclima lluvioso y la combinación de montañas y costas contribuyen al aumento de la diversidad de plantas por lo que se pueden encontrar pinares, pluvisilvas charrascos y bosques de galerías.

Medio minero

El yacimiento se encuentra explorado y desarrollado en distintas redes de perforación, (400x400), (300x300) y (100x100), para el estudio de sus reservas y características geológicas, [Espinosa y Antonio, (2000)]. Desde sus inicios y hasta la actualidad, se explota a cielo abierto. El método de explotación más empleado es el de transporte en un escalón, con arranque y carga directa mediante excavadora de arrastre al transporte automotor. La dirección de los frentes de trabajo en el plano es en abanico. Según las exigencias del plan de producción, la dirección del arranque en el perfil es horizontal extrayendo toda la altura de la capa de una vez. Los procesos tecnológicos de la mina se caracterizan por los siguientes elementos: desbroce, destape, construcción de caminos, trabajos de drenaje, extracción y transporte.

Medio socio-económico

El escenario se encuentra ubicado en una de las regiones minero-metalúrgicas más desarrolladas del país. El municipio de Moa representa el centro urbano principal de la zona. Como mesoregión, presenta valores intermedios de densidad vial (12-19,9 Km./Km.) su grado de urbanización está entre el 60 y el 80 %. La población del municipio es superior a los 68 500 habitantes. El sistema de asentamiento tiene dos centros urbanos, la cabecera municipal Moa y Punta Gorda, [Gutiérrez y Rivero, (1997)].

Próximo a este escenario aparecen además, dos plantas procesadoras de mineral de níquel y cobalto: la empresa estatal socialista Comandante Ernesto Che Guevara y la empresa mixta cubano-canadiense Moa-Níquel S.A. Comandante Pedro Soto Alba; una fábrica en construcción; Las Camariocas y otras entidades, pertenecientes a la Unión del Níquel que sirven de apoyo a esta industria y a otras ramas de la economía.

II. 2 Escenario de la mina Las Merceditas

Medio geológico

En el yacimiento predominan fundamentalmente tres tipos de rocas: peridotitas (harzburgitas), dunitas y gabros clasificadas como rocas duras y semiduras, agrietadas y suficientemente fuertes y estables, [Proenza, (1997)]. Su resistencia a la compresión varía en los rangos de 605 a 739 MPa, y su coeficiente de fortaleza entre 6.05 y 7.39, [Bartelemi, (2001) y [Mondejar, (2001)]. Las dunitas son las que por lo general le sirven de envoltura a los cuerpos minerales, su color varía desde verde hasta pardo rojizo, los granos son finos, estructura masiva, con grietas rellenas de kerolita y/o serpofita o carbonatos y por lo general con alto grado de serpentización. Los gabros son de color blanco, de granos finos, estructura masiva, agrietados y aparecen en forma de diques, [Cartaya, (2000)].

Desde el punto de vista ingeniero geológico tanto en el mineral como las rocas, la circulación del agua es por las grietas, el coeficiente de filtración es bajo, [Reimundo, (1996)]. Las aguas subterráneas son clasificadas según Kurlov como aguas hidrocarbonatadas-cloruradas-magnesianas y, por su PH son consideradas ligeramente básicas, con mineralización de 0.1 g/L. Estas rocas son poco permeables y la afluencia de agua aumenta en las zonas de mayor agrietamiento causado por grandes fallas, [Cartaya, (1996,1999 y 2000)].

El yacimiento está compuesto por tres depósitos minerales independientes. Los minerales metálicos hipergénicos secundarios presentes en la mena son: digenita, dilatosa, granerita, hidróxidos de hierro y otros. El mineral está representado por espinelas cromíferas, silicatos y granos de olivinos serpentinizados, la fortaleza del mineral son de 7 a 8 y su peso volumétrico es de 3.8 t/m³ y el coeficiente de esponjamiento es de 1.4, [Noa, (1996, 2003); Mondejar, (2001)]. Entre las menas y las harzburgitas, generalmente se desarrolla un cuerpo dunítico de poca potencia. Las rocas que componen este yacimiento están completamente serpentinizadas, cuyos contenidos de espinela cromíferas son de (80 – 95)%, (60 –85)% y del 50 % respectivamente. La mena está compuesta fundamentalmente por: Cr₂O₃, SiO₂, CaO, Al₂O₃, FeO, MgO, [Proenza, (1997)].

Medio ecológico

El área se encuentra ubicada dentro del parque nacional Alejandro de Humboldt, y al igual que el escenario anteriormente descrito, la misma es de un alto interés de conservación florística del país. La vegetación de la región es tropical y depende de la orografía de cada zona; [Ávila, (2000)]. En estas zonas encontramos las pluvisilva de montañas a una altura de 300 – 600 m, Falero, (1996); Cuesta, (1997) y Reimundo, (1998)].

Medio minero

La apertura del yacimiento se realizó a través de tres socavones, que fueron contribuyendo inicialmente con las labores de exploración geológica y luego con la explotación de los cuerpos minerales, tal como ha sucedido con el Lente 1, [Noa, (1996)]. El yacimiento se explota desde el año 1981 por el modo subterráneo. Los métodos de explotación que más se han utilizado son los que pertenecen a la zona de arranque abierta. De esta clase se utilizan cámaras y pilares y arranque por subnivel pertenecientes al grupo 4 y 5 respectivamente, [Blanco et. al, (1999)]. A partir del año 2000 se comenzó de manera experimental el método de explotación de minería por chimenea. Entre las instalaciones que constituyen esta unidad minera se encuentran la micro presa, mina subterránea, taller de mantenimiento de los equipos, mini hidroeléctrica, albergues, zaranda, termoeléctrica, oficinas administrativas y el comedor obrero.

Medio socio-económico

El escenario socio económico desde sus inicios hasta los años setenta estuvo muy ligado a la comunidad de Punta Gorda y el poblado rural de La Melba. Estas comunidades se han distinguido por tener una población polarizada a la actividad minera. Al sur de la región y próximo al yacimiento se desarrolla principalmente la ganadería y la explotación de recursos forestales, que son abundantes en la zona. Además se lleva a cabo el cultivo de coco, café y cacao.

Con el triunfo de la revolución en 1959 y la presencia del Comandante Ernesto Che Guevara Punta Gorda se convierte en un centro comunitario con determinado desarrollo social. El proceso de desarrollo minero en los años sesenta y mediados de los setenta provocó un fuerte proceso migratorio a la región generando un mayor crecimiento poblacional en este barrio del municipio de Moa. La tasa de crecimiento ha estado en el ritmo de

3.3/1000 para los años de la década de los 50, 8,9/1000 en los 60 y 20.0/1000 en 1980-90 estos índices disminuyeron con el periodo especial estabilizándose a 6/1000, [Maden, (2001)].

Ésta comunidad, posee una infraestructura que le permite mostrar elevados índices sociales y de salud. La construcción de un policlínico, varios consultorios de médicos de familia, un centro comercial, escuelas primarias y otras instalaciones sociales, luego del triunfo de la revolución, mejoraron notablemente la calidad de vida de los pobladores de esta comunidad minera. La red vial se ha desarrollado a partir de la construcción de las vías principales de la comunidad que la enlazan con los poblados de Moa y Baracoa.

II. 3 Diagnostico del geopotencial en los escenarios de uso minero del territorio

La actividad geodinámica presente en cada escenario, permite identificar los principales procesos y fenómenos naturales manifestados en cada escenario estudiados. La existencia de diferentes tipos de yacimientos facilita una mejor proyección hacia un desarrollo minero sostenible.

Cada escenario posee un potencial de recursos naturales, rico en diversos procesos ecológicos, representados según la diversidad florística y faunística que cuenta con un valor natural; existe una infraestructura tecnológica, que facilita el aprovechamiento de las potencialidades naturales, por parte de los miembros de las comunidades urbanas y locales.

En la región se observa la existencia de una gran y pequeña minería, con infraestructura tecnológica y económica, capaz de absorber los retos para alcanzar el desarrollo minero sostenible.

II. 4 Conclusiones

1. La metodología propuesta permitió identificar las principales características (medio geológico, ecológico, minero y socio-económico), de los dos escenarios seleccionados, a partir del uso de técnicas y métodos para la recogida de la información disponible, con lo cual se obtuvo el diagnóstico general de la minería en cada uno de ellos.
2. Los resultados del diagnóstico, muestran la existencia de dos tipos de minería: a cielo abierto y subterránea, donde existe un potencial de recursos naturales, rico en diversos procesos ecológicos, representados según su diversidad florística y faunística que cuenta con un valor natural y una base mínima de infraestructura ecológica que facilita el aprovechamiento de las potencialidades naturales, por parte de los miembros de las comunidades urbanas y locales; y es capaz de absorber los retos para alcanzar el desarrollo minero sostenible.

CAPITULO III DISEÑO METODOLOGICO DEL SISTEMA DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, (SIS)

III. 1 Metodología para la formulación del sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS)

La presentación de un número determinado de indicadores por áreas o temas de sostenibilidad minera, requiere que estos se encuentren organizados en un marco lógico que ayude a su integridad y comunicación. Esta organización analítica se desprende, por lo tanto, de la función del medio de información de los indicadores, más que de sus prioridades intrínsecas, depende en definitiva de la utilidad que estos deben presentar, [Agudo et. al, (1998)]. En la literatura se pueden encontrar diversos marcos de análisis para la organización de los indicadores, [Villas Boas et. al, (2002a y b)]. Entre ellos se destacan: marco analítico: estructura promedio: marco sectorial: marco causal y el enfoque especial.

Para la realización del diseño del sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS), se consideró necesario, estudiar los procesos y fenómenos que inciden en la minería de los escenarios estudiados. Para la recogida y procesamiento de la información, se procedió de manera similar al diagnóstico territorial y se aplicaron los métodos de pronóstico, de tipos cualitativos.

Además de los nacionales, se consultaron a 100 expertos de 14 países en todo el mundo. Otra forma empleada para consultar a los especialistas, fue a través de intercambio de información por vía electrónica.

De este modo, el diseño del sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS), se inicia con la propuesta de una metodología, 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, diferentes grupos investigativos 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.

III. 2 Organización de grupos de investigación

Es el primer paso para elaborar un sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS) de cada escenario minero; para lo cual se tomará como muestra, el comportamiento de la minería en los últimos cinco años, (1998-2002). Para la organización de los grupos investigativos, es necesario identificar los actores y organizaciones claves, para lo cual se establecerán contactos con los profesionales del ramo, técnicos, trabajadores y directivos mineros, según las características de cada escenario, los diferentes grupos de especialistas que trabajarán durante el diseño del sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS).

III. 3 Identificación de problemas y objetivos

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 el método de 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 sociopolítica.

III. 4 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 geominero 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 geominera de manera que queden satisfactoriamente resueltos todos sus elementos.

III. 5 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 el uso de métodos de pronóstico, para 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 y 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.

En esta fase del trabajo se emplean criterios de selección de variable de una manera informal entre las que predomina la validez científica de las variables descriptiva, su representatividad, su capacidad para responder a los cambios, etc.; es decir, todos aquellos elementos que permitan cualificar al indicador como una variable clave en la descripción de cualesquiera de las fases del modelo presión, estado, respuesta y sostenibilidad. De esta manera, en esta etapa, se diseña el modelo de indicadores de Presión-Estado-Respuesta a partir de la adaptación en cada escenario minero.

III. 6 Propuesta de indicadores de sostenibilidad

La propuesta de indicadores se realiza aplicando un conjunto de criterios de selección propio del sistema, sin que se establezcan prioridades en esta fase. Adquieren gran importancia como criterio de selección, la disponibilidad y adecuación de datos, así como la validez científica y la representatividad. La identificación de los indicadores de sostenibilidad se realiza aplicando en cada escenario minero, el método Ishikagua descrito por autores como Carnota, (1991).

Para ello se parte del las características principales del escenario objeto de estudio y de su geopotencial, (GP). La obtención de este geopotencial se inicia con la definición de las unidades de integración territoriales básicas (escenarios mineros), sobre las cuales se hará el análisis de los diversos potenciales (geológico, ambiental, minero y socioeconómico). En estas unidades es posible investigar los diferentes elementos y procesos que forman parte de la minería, con el objetivo de construir una visión integrada del mismo, [Sánchez, (2002)]. De este modo y a partir de los potenciales se identifican las diferentes variables o procesos condicionantes que integran el Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS).

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, [Sánchez, (2002)]. Los componentes que constituyen este potencial son: la geomorfología, el recurso mineral y los fenómenos naturales y riesgos geodinámicos. El potencial ambiental (PA), está relacionado con el valor natural presente en el territorio y la incidencia de la actividad minera sobre el medio ambiente. Los componentes que constituyen este potencial son: vegetación y fauna, atmósfera , 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. Está relacionado con la tecnología, y el cierre de las actividades mineras.

El potencial socio-económico (PSE), se identifica con la capacidad que tiene la entidad minera para relacionarse con el sistema natural y las comunidades vecinas, 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)]. Los principales indicadores que se tienen en cuenta en cada potencial son reflejados en la Figura 1 de los Anexos.

III. 7 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 propuesto 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 el aspectos participativos en esta fase del proceso.

III. 8 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 establecer prioridades en la obtención de datos y trabajar con vista a alcanzar el desarrollo minero sostenible. Los indicadores sirven para mostrar las lagunas de conocimiento existente; ayudar a orientar los recursos disponibles en la dirección más adecuada y hacer evaluaciones de las capacidades y potencialidades existentes en cada escenario minero. Por sus características propia, sólo tendrá éxito si pasa por una profunda valoración geominera 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. Para esto, se deben tener en cuenta los recursos presentes en cada escenario, para lo cual se propone la utilización de una escala numérica siendo el uno el valor mínimo y cinco el valor máximo, de acuerdo con el nivel de influencia de cada indicador, en el logro de la sostenibilidad minera. Los cinco niveles de clasificación de cada indicador se reflejan en la Tabla 1.

Tabla 1. Escala de valoración del sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS).

ESCALA	VALOR, (P)	CRITERIO DE VALORACIÓN
Muy alta	5	Incidencia considerada idónea del indicador para alcanzar el desarrollo minero sostenible
Alta	4	Incidencia considerada aceptable del indicador para alcanzar el desarrollo minero sostenible
Media	3	Incidencia considerada limitada siempre y cuando la variable satisfaga alguna condición especial o prerrequisito para alcanzar el desarrollo minero sostenible
Baja	2	Incidencia considerada incompatible del indicador para alcanzar el desarrollo minero sostenible
Muy baja	1	Exclusión o valores inaceptables bajo cualquier circunstancias del indicador para alcanzar el desarrollo minero sostenible

Además de este valor (P), a cada indicador se le asigna un coeficiente de ponderación o peso (K), que permite determinar su importancia con relación a los demás. En esta etapa, se estudian los principales objetivos de los proceso tecnológico de cada unidad minera, a partir del trabajo en grupo y el análisis de la documentación técnica. La valoración de cada indicador se obtiene haciendo uso de los métodos de pronósticos de tipos cualitativos, donde se toman en cuenta múltiples factores que influyen o se relacionan con el indicador que se quiere determinar. El valor en cada componente o vértice del Potencial n, es función de los componentes del nivel inferior que en él convergen, obteniéndose mediante la Fórmula 1, utilizada por diversos autores:

$$P_n = \sum_{i=1}^n K_i \times P_i ; \quad (1)$$

Para determinar el Geopotencial del territorio, se utiliza la Fórmula 2.

$$GP = K_G \times PG + K_A \times PA + K_M \times PM + K_{SE} \times PSE ; \quad (2)$$

Los valores de cada indicador (P), se calculan aplicando el modelo de valoración de criterios con ponderación simple, a partir de la construcción de una matriz en la cual se ubican por filas los criterios de valoración y por columnas, la escala descrita anteriormente en la Tabla 1.

El coeficiente de ponderación de cada indicador (K), se calcula con la aplicación del método Delphi, [Balkeley, (1968); Cendero D. T., (1978); Zayas, (1990); CEPAL, (1994); Velásquez, E. & Viana R., (1997, 1998); citados por Guardado, (2002); Gallagher P. y S. Wátson, (1997)]. Para valorar el nivel de consenso, se determina el coeficiente de concordancia (C), mediante la Fórmula 3.

$$C = 1 - \frac{V_n}{V_t} \times 100 ; \quad (3)$$

Según Zayas (1990), hay consenso cuando se cumple que $C \geq 75 \%$; parámetro que se cumplió en cada ejercicio realizado. Para facilitar el proceso de análisis y elaboración de los resultados, la escala de valoración de este coeficiente se tomó de 5 a 100 %, con intervalo de variación de 5.

III. 9 Validación del sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS)

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. En la etapa es importante retomar las anteriores y verificar qué se ha hecho hasta el momento. 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 que así lo requieran.

Una revisión periódica de cada una de ellas, se hace 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 periodo 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.

III. 10 Conclusiones

1. El sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS), pretende generar indicadores que se interrelacionen, de forma directa, con los fenómenos económicos y ambientales del escenario minero que se trate, aportando una perspectiva integral de los elementos a diferentes escalas.
2. La metodología elaborada para el diseño del sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS), se caracteriza por la integralidad de los indicadores y sus particulares esenciales, definidas adecuadamente y desarrolladas con coherencia según los tipos de indicadores y aplicable a cualquier tipo de modo de explotación.

CAPITULO IV. APLICACIÓN DEL SISTEMA DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD (SIS), EN LOS ESCENARIOS DE USO MINERO DEL TERRITORIO

IV.1 Escenario de la mina Comandante Ernesto Che Guevara

La aplicación del SIS, tomó en cuenta la cantidad promedio de trabajadores de la mina en esta etapa, de manera tal que se identificaron los actores claves y organizaciones que participaron en el proceso. De una población promedio de 330 trabajadores, se crearon 4 grupos investigativos: técnico y de dirección; medio ambiente; económico y socio-comunitario, los que se relacionan con la totalidad de los procesos tecnológicos y las relaciones comunitarias.

Con la creación de los grupos temáticos, se procedió a definir los principales problemas y objetivos a vencer para alcanzar el diseño del SIS; etapa en la cual se utilizó el software para el control de despacho de producción, diseñado por el Grupo de Servicios Informáticos de la Empresa Geólogo Minera de Oriente.

A tal efecto se confeccionó una tabla resumen con las causas de las principales afectaciones que incidieron en el cumplimiento del horario de trabajo en la mina. A partir de los problemas planteados y tomando como referencia la planeación estratégica de la mina durante los años 1998-2002, se elaboraron los objetivos de trabajo para el diseño del sistema de indicadores de sostenibilidad, (SIS).

Una vez definido estos objetivos, se seleccionaron los principales temas de trabajo: geológico, ambiental, minero y socio-económico, confeccionándose una base de datos que permitió identificar el comportamiento de los principales indicadores utilizados en la mina, con lo cual se logró identificar los indicadores de presión, estado y respuesta que constituyen la base principal para la formulación del sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS). En su valoración, se utilizó la escala numérica descrita en la Tabla 1 del Capítulo III. Aplicando los métodos de pronósticos, se obtuvieron los siguientes resultados.

Potencial geológico, (PG)

La valoración del indicador de tipo de roca (Itr), tuvo en cuenta las características geológicas y geomecánicas de las rocas que forman parte de los bloques en explotación según cada año y la clasificación de la estabilidad que se establece por la literatura consultada. Las investigaciones arrojaron como resultado una estabilidad media, (3). Su nivel de importancia en el componente Geomorfológico (GM), fue del 50 %.

Los criterios de valoración del factor del terreno (Ift), se determinaron a partir de la inclinación que pueden vencer los equipos de transporte (Volvos, Euclid, Komatsu y otros); utilizados en la mina. Se valoró de medio, (3) y el nivel de importancia en el componente Geomorfológico (GM), del 50 %

El indicador de explotabilidad, (Iex), se valoró según los parámetros establecidos en el capítulo anterior. Para ello, se utilizó la Fórmula 4.

$$Iex = 0,35 \times can + 0,35 \times cal + 0,30 \times gco ; \quad (4)$$

Durante el análisis de la cantidad de mineral (can), se obtuvo que en cada bloque existe mineral suficiente como para satisfacer las demandas de producción de cada año, por lo que se valoró de muy alto, (5). Su nivel de importancia en este indicador fue del 35 %. El análisis del indicador de la calidad del mineral (cal), se realizó a partir del contenido de los minerales principales existente en el yacimiento Punta Gorda; lo cual mostró un comportamiento según lo planificado, por lo que se valoró de alto (4) y su nivel de importancia en el indicador de explotabilidad (Iex), fue del 35 %. El grado de conocimiento (gco), se valoró de muy alto (5) y su nivel de importancia en el indicador de explotabilidad (Iex), fue del 30 %. De modo general, el comportamiento del

indicador de explotabilidad (Iex), se valoró de alto, (4,8) y su nivel de importancia en el componente Recurso mineral (RM), fue del 60 %.

El cálculo del indicador de aprovechamiento de las reservas, (Iar), se efectuó a partir de la relación que existe entre el mineral minado y el mineral agotado. Los resultados mostraron que durante la explotación del yacimiento, se incrementan las reservas, lo que llevó a valorar al indicador de alto, (4). Su nivel de importancia en el componente Recurso mineral (RM), fue del 40 %.

El análisis del factor de ocurrencias de fenómenos naturales y riesgos geodinámicos (Ifr), tuvo en consideración, los trabajos desarrollados por otros autores; así como, las entrevistas realizadas a especialistas y trabajadores de este escenario. Este indicador se valoró de muy bajo (1). Su nivel de importancia en el componente Fenómenos naturales y riesgos geodinámicos (FR), fue del 100 %.

Una vez determinados los indicadores geológicos de sostenibilidad, se valoró el comportamiento del Potencial geológico (PG), a partir de sus componentes principales y la aplicación de las Fórmulas 5, 6, 7 y 8.

$$GM = 0,50 \times Itr + 0,50 \times Ift ; \quad (5)$$

$$RM = 0,60 \times Iex + 0,40 \times Iar ; \quad (6)$$

$$FR = 1 \times Ifr ; \quad (7)$$

$$PG = 0,30 \times GM + 0,40 \times RM + 0,30 \times FR ; \quad (8)$$

Los resultados reflejan valores mínimos de 2,95 y máximos de 3,20 para un promedio de 3,08, (ver Tabla 1 de los Anexos), lo que según la escala descrita en la Tabla 1 del Capítulo III, expresa un desarrollo medio.

Potencial ambiental, (PA)

El indicador de impacto atmosférico (Iat), se calculó tomando en cuenta los resultados de las investigaciones realizadas en el territorio por la Consultora Ambiental CESIGMA. División América. Los resultados mostraron que el impacto ambiental ocasionado por la explotación minera está por encima de las normas establecidas, por lo que este indicador se valoró de muy negativo, (1). Su nivel de importancia en el Potencial ambiental (PA), fue del 20 %.

El indicador de impacto hídrico (Iih), se valoró a partir de las afectaciones ocasionadas por las aguas superficiales y subterráneas a la actividad minera. Para su determinación, se aplicó la Fórmula 9, donde se tuvo en cuenta la influencia de la cantidad, (cag), de precipitaciones caídas en la etapa 1998-2002; las cuales según estudios realizados por CESIGMA y otros autores, superaron los 1500 mm, afectando las operaciones mineras, por lo que se valoró de muy bajo (1). Su nivel de importancia en el indicador de impacto hídrico (Iih), fue del 50 %. Así mismo, se analizó que todos los años se produjeron afectaciones por las aguas subterráneas (cas), a los 6 frentes de extracción, por lo cual este parámetro se valoró de muy bajo, (1) y su nivel de importancia en el indicador de impacto hídrico (Iih), fue del 50 %.

$$Iih = 0,50 \times cag + 0,50 \times cas ; \quad (9)$$

De forma general el indicador de impacto hídrico (Iih), fue valorado de muy bajo, (1) y su nivel de importancia en el Potencial ambiental (PA), fue del 10 %.

El análisis del indicador de impacto al suelo (Iis), partió de la cantidad de suelos afectados por la minería. Los resultados mostraron que cada año se afectan como promedio más de 25 ha de suelos fértiles, por lo que se valoró de muy bajo (1). Su nivel de importancia en el Potencial ambiental (PA), fue del 20 %.

Durante la valoración del indicador de impacto ecológico (Iec), se tomó en cuenta la influencia de la explotación minera sobre las riquezas del medio biótico y abiótico presente en la región donde se enmarca el yacimiento. En la etapa analizada (1998-2002), se aprecia que como consecuencia de la explotación minera las especies desaparecen prácticamente en su totalidad, por lo que el indicador de impacto ecológico (Iec), es muy negativo (1), y su nivel de importancia en el Potencial ambiental (PA), fue del 15 %.

El indicador de calidad del paisaje (Icp), fue valorado por sus cuatro elementos: densidad de población cercana al área activa de explotación (dpa), factor del área anual de explotación (aae), uso del suelo (uso) y la capacidad de visibilidad hacia el área de explotación (cva), para lo cual se aplicó la Fórmula 10.

$$Icp = 0,30 \times dpa + 0,30 \times aae + 0,25 \times uso + 0,15 \times cva ; \quad (10)$$

Para analizar la densidad de población cercana al área activa de explotación (dpa), se tuvo en cuenta que en las áreas próximas a la zona de explotación minera y dentro de un radio de 1,5 a 3 Km., se encuentran comunidades vecinas, por lo que se valoró de muy bajo (1). Su nivel de importancia fue del 30 %.

El factor del área anual de explotación (aae), se valoró de muy alto (5), dado el alto rendimiento de la mina (97 %), en cada área explotada en esa etapa. Su nivel de importancia según criterio de expertos fue del 30 %.

La valoración del uso del suelo (uso), tuvo en cuenta el posible uso que se le brindará al terreno y los planes de ordenamiento territorial existentes en la zona. En esta mina el principal uso que recibirá el terreno será el forestal, lo cual coincide con sus características naturales, por lo que el indicador se valoró de muy alto (5). Su nivel de importancia fue del 25 %.

La capacidad de visibilidad hacia el área de explotación (cva), se valoró a partir de la calidad de las barreras (naturales y/o artificiales) dispuestas para evitar la visibilidad hacia la mina y sus procesos tecnológicos. Este parámetro se valoró de muy bajo (1). Su nivel de importancia fue del 15 %. De manera general, el indicador de calidad del paisaje (Icp), fue valorado de medio, (3,20) y su nivel de importancia dentro del Potencial ambiental (PA), fue del 20 %.

Una vez determinados los indicadores ambientales de sostenibilidad, se valoró el comportamiento del Potencial ambiental (PA), a partir de sus componentes principales, y con la aplicación de la Fórmula 11. Los resultados reflejaron valores promedios de 1,44, (ver Tabla 2 de los Anexos), los que según la escala descrita en la Tabla 1 del Capítulo III, manifiestan un desarrollo muy bajo.

$$PA = 0,20 \times Iat + 0,25 \times Iih + 0,20 \times Iis + 0,15 \times Iec + 0,20 \times Icp ; \quad (11)$$

La producción minera (Ipm), se valoró a partir del grado de cumplimiento del plan anual exigido a la mina. Los resultados de este análisis mostraron que el grado de cumplimiento de dicho plan ha sido superior al planificado con excepción del último año 2002, por lo que se valoró de muy alto (4,8). Su nivel de importancia en el componente Tecnología (TE), fue del 20 %.

El comportamiento del coeficiente general de destape (Igd), corrobora que este indicador oscila entre 0,43-0,45 m³/T. Su valoración promedio en la etapa fue alta, (3,8) y su nivel de importancia en el componente Tecnología (TE), fue del 10 %. La utilización integral de los recursos minerales (Iur), se determinó a partir del tratamiento que reciben los minerales. Su valoración fue baja (2) y su nivel de importancia en el componente Tecnología (TE), fue del 5 %.

El tiempo de adelanto de la preparación minera (Itp), permitió comprobar que este indicador constituye uno de los elementos principales que ha gravitado sobre el grado de cumplimiento de los planes operativos anuales. Su análisis demostró que nunca se ha cumplido con las normas establecidas para este tipo de minería a cielo abierto, (1-1,5 años), por lo cual el indicador se valoró de bajo (2). Su nivel de importancia en el componente Tecnología (TE), fue del 15 %.

La valoración del indicador de gestión minera (Ige), se realizó a partir del nivel de automatización de las operaciones mineras (nau) y el nivel de diversificación de la producción minera (ndi). Para ello se utilizó la Fórmula 12.

$$Ige = 0,80 \times nau + 0,20 \times ndi ; \quad (12)$$

Del análisis del indicador de automatización de las operaciones mineras (nau), se obtuvo que este indicador es alto (4), pues en los últimos años en más del 75 % de las operaciones de la mina se están empleando los software Tierra y SABDO, los cuales facilitan el control y planificación de los procesos. Su nivel de importancia en el indicador de gestión minera, (Ige), fue del 50 %. La valoración del nivel de diversificación de la producción minera (ndi), mostró como resultado promedio que, la cantidad de productos (menas lateríticas), que la unidad minera le entrega a la fábrica es la misma establecida desde su construcción, por lo que este indicador se valora de muy bajo (1) y su nivel de importancia indicador de gestión minera (Ige), fue del 50 %. De manera general el indicador de gestión minera (Ige), se valoró de medio (3) y su nivel de importancia en el componente Tecnología (TE), fue del 5 %.

El indicador de volumen de residuales (Ivr), permitió valorar el uso que reciben la cantidad de escombros, que surgen como consecuencia de la explotación del yacimiento. Los resultados mostraron que en la mina, la totalidad de los escombros producidos en esta etapa se utilizaron para la conformación de escombreras en el minado antiguo; lo cual se valora de muy positivo(5), para el desarrollo minero sostenible. Su nivel de importancia en el componente Tecnología (TE), fue del 10 %.

El indicador de pérdidas mineras (Ipe), permitió valorar el comportamiento de las pérdidas cuantitativas (pca) y cualitativas (pcl), del mineral. Se identificó con la cantidad de mineral dejado de extraer por limitaciones tecnológicas y por mala planificación o ejecución de la minería. El análisis de las pérdidas cuantitativas (pca), se realizó a partir de los normativos establecidos por la unidad minera en cada etapa. Los resultados mostraron que en la etapa 1998-2002, se produjo una cantidad de pérdidas superior a lo planificado, por lo que este indicador se valoró de muy bajo (1); y su nivel de importancia en el indicador de pérdidas mineras (Ipe), del 50 %; no así el comportamiento de la dilución (pérdidas cualitativas (pcl)), la cual estuvo muy por debajo de lo planificado, valorándose de muy positivo (5) y su nivel de incidencia en el indicador de pérdidas mineras (Ipe), fue del 50 %. Para la determinación del indicador de pérdidas mineras (Ipe), se utilizó la Fórmula 13.

$$Ipe = 0,50 \times pcan + 0,50 \times pcal ; \quad (13)$$

De manera general, el indicador se valoró de medio (3), y su nivel de incidencia en el componente Tecnología (TE), fue del 15 %.

El indicador de seguridad minera (Ism), tomó en consideración los principales indicadores de accidentes e incidentes que ocurrieron en cada año de la etapa analizada (1998-2002). Los resultados obtenidos mostraron que la mina posee un elevado índice de seguridad, por lo que se valoró de muy alto (5). Su nivel de importancia en el componente Tecnología (TE), fue del 20 %.

La utilización de los espacios mineros (Iem), se valoró a partir del manejo que reciben la cantidad de excavaciones mineras antiguas. Según los datos obtenidos, se comprobó que estas excavaciones se utilizaron para la construcción de escombreras interiores, lo cual implica un valor alto de este indicador (5). Su nivel de importancia en el componente de Cierre de las actividades mineras (CM), fue del 40 %.

La valoración del factor de rehabilitación del terreno, (Irt), se determinó a partir de la relación que existe entre la cantidad de áreas rehabilitadas y las áreas anualmente afectadas por las minería. Para su análisis se tuvo en cuenta el cumplimiento del plan anual de rehabilitación de la mina.

Se comprobó que a pesar de que en todos los años este plan se cumplió, no siempre se logró recuperar la misma cantidad de hectáreas afectadas por la minería; por lo que se evaluó de medio (3). Su nivel de importancia en el componente Cierre de las actividades mineras (CM), fue del 40 %.

El análisis del patrimonio geológico y minero (Ipg), arrojó como resultado que este indicador se encuentra muy poco estudiado y no se tiene en cuenta durante la planificación minera, por lo alcanzó valores muy bajos (1) y su nivel de importancia en el componente Cierre de las actividades mineras (CM), fue del 10 %.

El comportamiento del indicador de proyecto de cierre de las actividades mineras (Ipc), consideró la existencia o no de un proyecto o documentación técnica que reflejen acciones en este sentido. Hasta la fecha, la mina no cuenta con ningún documento de este tipo, por lo que se valoró de muy bajo (1), con un nivel de importancia en el componente Cierre de las actividades mineras (CM), del 10 %.

Para la valoración del Potencial minero (PM), se tomaron los resultados de sus componentes principales y la aplicación de las Fórmulas 14, 15 y 16.

$$TE = 0,20 \times Ipm + 0,10 \times Igd + 0,05 \times Iur + 0,15 \times Itp + 0,05 \times Ige + 0,10 \times Ivr + 0,15 \times Ipe + 0,20 \times Ism ; (14)$$

$$CM = 0,40 \times Iem + 0,40 \times Irt + 0,10 \times Ipg + 0,10 \times Ipc ; (15)$$

$$PM = 0,80 \times TE + 0,20 \times CM ; (16)$$

Los resultados reflejan valores que oscilan entre 3,41 y 3,84 y como promedio a 3,6 (ver Tabla 3 de los Anexos), los que según la escala descrita en la Tabla 1 del Capítulo III, expresan un desarrollo medio de este potencial.

Potencial socio-económico, (PSE)

Durante el análisis del comportamiento de la capacidad de empleo (Ice), se obtuvo que la mina cumplió con los planes establecidos, por lo que este indicador se valoró de alto (4) y su nivel de importancia en el componente Fuerza de trabajo (FT), fue del 40 %.

El indicador de profesionalidad de los trabajadores (Ipt), permitió valorar el nivel profesional alcanzado por la fuerza laboral existente en la mina. Se determinó a partir del nivel profesional (npt) y de superación y capacitación, de los trabajadores (cpt). El nivel profesional de los trabajadores (npt), se determinó por el grado cultural alcanzado por la fuerza de trabajo minera y a partir de la aplicación de la Fórmula 17.

$$Ipt = 0,50 \times npt + 0,50 \times cpt ; (17)$$

Los resultados demostraron que más del 87 % del total de trabajadores poseen determinada calificación técnica y profesional por lo que dicho indicador se valoró de muy alto (5). Su nivel de importancia en el Indicador de profesionalidad de los trabajadores (Ipt), fue valorado del 50 %.

El nivel de superación y capacitación de los trabajadores (cpt), se valoró a partir del cumplimiento de los programas de superación y capacitación desarrollados para los trabajadores de la mina. Este elemento arrojó como resultado que se sobrecumplieron todas las acciones planificadas en la etapa, por lo que se valoró de muy alto (5). Su nivel de importancia en el Indicador de profesionalidad de los trabajadores (Ipt), fue del 50 %. De manera general, el indicador de profesionalidad de los trabajadores (Ipt), se valoró de elevado, (4) y su nivel de importancia en el componente Fuerza de trabajo (FT), fue del 30 %.

Durante el análisis del comportamiento del nivel de satisfacción de la fuerza de trabajo (Isf), se comprobó que en los dos últimos años se incrementaron las quejas de los trabajadores, producto al no pago de la estimulación y algunos servicios no prestados; por lo que este indicador se valoró de medio (3). Su nivel de importancia en el componente Fuerza de trabajo (FT), fue del 30 %.

La cantidad de obligaciones legales cumplidas (Icl), se valoró a partir del cumplimiento del pago del canon, la ley de minas, la ley de medio ambiente, la ley forestal y la entrega en tiempo y con la calidad requerida de la documentación necesaria. Este parámetro se valoró de muy alto (5), y su nivel de importancia en el componente Relaciones comunitarias (RC), fue del 80 %.

El nivel participativo comunitario (Inp), se determinó a partir de la cantidad de actividades establecidas entre la mina y las comunidades próximas a esta. De su análisis se pudo comprobar que aunque se realizaron algunas actividades, no existió un Plan de acción preestablecido en la mina, por lo que el indicador se valora de bajo (2). Su nivel de importancia en el componente Relaciones comunitarias (RC), fue del 10 %.

El indicador de valor social para la comunidad (Ivs), se valoró a partir de la cantidad de empleados en la mina procedentes de las comunidades próximas. Se pudo determinar que la minería desde sus inicios, ha constituido la fuente principal de empleo para los habitantes de esta zona, por lo que el valor de este indicador es muy elevado (5). Su nivel de importancia en el componente Relaciones comunitarias (RC), fue del 10 %.

El análisis del comportamiento del indicador de costo unitario (Icu), se realizó por el grado de cumplimiento del plan establecido por la entidad superior de la mina. Los resultados de la valoración de este indicador, mostraron que dicho parámetro siempre se mantuvo por debajo de lo planificado, por lo que se valoró de muy alto (5). Su nivel de importancia en el componente Mercado (ME), fue del 50 %.

La valoración del indicador de nivel de satisfacción de la demanda (Ins), tuvo en cuenta la cantidad de quejas formuladas por el clientes como resultado de los productos finales ofrecidos por la mina. En este período (1998-2002), el principal cliente de la mina fue la planta metalúrgica de secadero ubicada dentro de la fábrica. Este indicador se valoró de alto (4) y su nivel de importancia en el componente Mercado (ME), fue del 50 %.

Una vez determinados los indicadores socio-económicos de sostenibilidad, se valoró el comportamiento del Potencial socio-económico (PSE), a partir de sus componentes principales y haciendo uso de las Fórmulas 18, 19, 20 y 21.

$$FT = 0,40 \times Ice + 0,30 \times Ipt + 0,30 \times Isf ; \quad (18)$$

$$RC = 0,80 \times Icl + 0,10 \times Inp + 0,10 \times Ivs ; \quad (19)$$

$$ME = 0,50 \times Icu + 0,50 \times Ins ; \quad (20)$$

$$PSE = 0,35 \times FT + 0,30 \times RC + 0,35 \times ME ; \quad (21)$$

Los resultados reflejan valores que oscilan entre 4,10 y 4,56 y como promedio 4,36, (ver Tabla 4 de los Anexos), los que según la escala descrita en la Tabla 1 del Capítulo III, expresan un desarrollo alto de este potencial.

Geopotencial, (GP)

La valoración del Geopotencial (GP), se realizó a partir de los resultados obtenidos en cada potencial, (geológico, ambiental, minero y socio-económico), para lo cual se utilizó la Fórmula 22. Los resultados, se reflejan en la Tabla 1 del Anexo.

$$GP = 0,25 \times PG + 0,25 \times PA + 0,25 \times PM + 0,25 \times PSE ; \quad (22)$$

Este cálculo dio como resultado, valores mínimos de 3,00 y máximos de 3,21 y un valor promedio es 3,12; (ver Tabla 5 de los Anexos), lo cual según la escala propuesta en la Tabla 1 del Capítulo III, implica un desarrollo medio de este Geopotencial en dicho escenario (ver Figura 1).

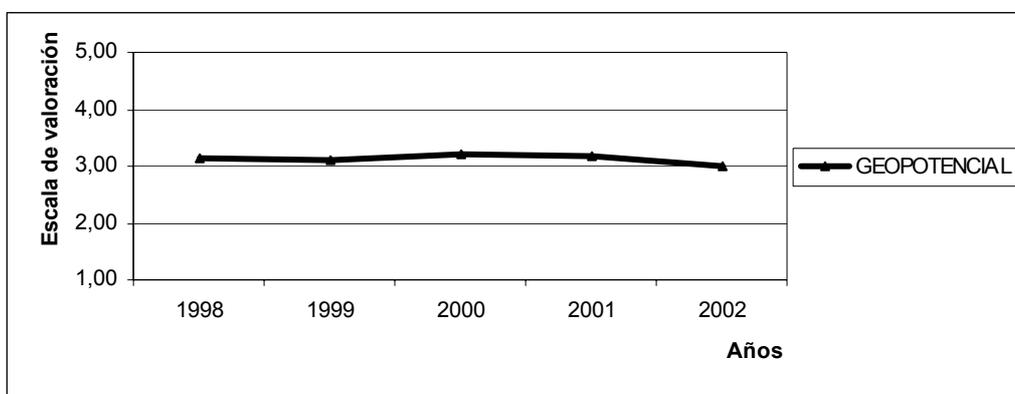


Figura 1. Valoración de Geopotencial en el escenario de la mina Comandante Ernesto Che Guevara.

IV. 2 Escenario de la mina Las Merceditas

Para la aplicación de SIS en este escenario minero, se crearon 4 grupos investigativos, (técnico y de dirección; medio ambiente; económico y socio-comunitario), tomándose una población promedio de 80 trabajadores, con los que se definieron los principales problemas y objetivos a vencer en la mina para alcanzar el diseño del SIS. Se confeccionó una tabla resumen con las causas de las principales afectaciones que incidieron en el trabajo en la mina. Más adelante y tomando como referencia la planeación estratégica de la mina durante los años 1998-2002, se elaboraron los objetivos de trabajo para el diseño del sistema de indicadores de sostenibilidad, (SIS).

Seguidamente se confeccionó una base de datos que permitió identificar el comportamiento de los principales indicadores utilizados en la mina la cual permitió identificar los indicadores de presión, estado y respuesta, para la formulación del sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS) de esta mina. A través de la escala descrita en el la Tabla 1 del Capítulo III, se establecieron los criterios de valoración del sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS). Luego de someter al debate y análisis de la propuesta final, para el escenario de la mina Las Merceditas, se obtuvieron lo siguientes resultados:

Potencial Geológico, (PG)

Del análisis del comportamiento del tipo de roca (Itr), se pudo comprobar que los bloques explotados y la mina en sentido general, están constituidos por rocas duras, medianamente estables y de fortaleza media; lo cual

posibilitó la explotación subterránea del yacimiento. Tomando en cuenta estos resultados, este indicador alcanzó una valoración media, (3). Su nivel de importancia en el componente Geomorfología (GM), fue del 50%.

La valoración del factor del terreno (Ift) se realizó a partir de la inclinación que pueden vencer los equipos de transporte utilizados en la mina, (camiones de volteo KRAZ-236-3 y VOLVO). De acuerdo con los resultados alcanzados durante el diagnóstico territorial, se identificaron las pendientes de la zona (superior al 20 %). Este indicador alcanzó una valoración promedio muy baja, (1). Su nivel de importancia en el componente Geomorfología (GM), fue del 50%.

Para valorar el indicador de explotabilidad (Iex), se tuvieron en cuenta los parámetros establecidos en el capítulo anterior; para lo cual fue necesario la aplicación de la Fórmula 23.

$$Iex = 0,35 \times can + 0,35 \times cal + 0,30 \times gco ; \quad (23)$$

Al analizar la cantidad de mineral se demostró que en el yacimiento existen suficiente mineral para cumplir los planes establecidos, por lo que se valoró de muy alto, (5) y su nivel de importancia en el indicador de explotabilidad fue del 35 %. El comportamiento de la calidad del mineral (cal), se valoró de alto, (4). Su nivel de importancia en el indicador de explotabilidad (Iex), fue del 35 %. El análisis del grado de conocimiento (gc), arrojó como resultado que a pesar de existir gran cantidad de trabajos aplicados y publicados así como estar delimitadas y calculadas las reservas geológicas de cada bloque, solamente se conoce entre un 50-60 % del yacimiento, por lo que se valoró de medio, (3). Su nivel de importancia en el indicador de explotabilidad (Iex), fue del 30 %. De manera general, el indicador de explotabilidad (Iex), se valoró de alto (4,19) y su nivel de importancia en el componente Recurso mineral (RM), fue del 80 %.

El indicador de aprovechamiento de las reservas (Iar), se valoró a partir de la cantidad de reservas incorporadas al proceso durante la explotación minera. Las investigaciones mostraron que en esta etapa, se incorporaron entre el 5-10 % del total del mineral extraído en las cámaras; por lo que su valoración promedio fue muy alta (5). Su nivel de importancia en el componente Recurso mineral (RM), se valoró de un 20 %.

La valoración del factor de ocurrencias de fenómenos naturales y riesgos geodinámicos (Ifr), se realizó a partir de la ocurrencia de los fenómenos de mayor frecuencia en esta mina. Se valoró de muy bajo (1) y su nivel de importancia en el componente Fenómenos naturales y riesgos geodinámicos (FR), fue del 100 %.

Una vez determinados los indicadores geológicos de sostenibilidad, se valoró el comportamiento del Potencial Geológico (PG), a partir de sus componentes principales y la aplicación de las Fórmulas 24, 25, 26 y 27.

$$GM = 0,50 \times Itr + 0,50 \times Ift ; \quad (24)$$

$$RM = 0,80 \times Iex + 0,20 \times Iar ; \quad (25)$$

$$FR = 1 \times Ifr ; \quad (26)$$

$$PG = 0,30 \times GM + 0,40 \times RM + 0,30 \times FR ; \quad (27)$$

Los resultados reflejan valores que oscilan entre 2,78 y 2,90 y como promedio 2,82; (ver Tabla 6 de los Anexos), los que según la escala descrita en la Tabla 1 del Capítulo III, expresan un desarrollo bajo de este potencial.

Potencial ambiental, (PA)

Durante la valoración del indicador de impacto atmosférico (Iat) se tomaron en cuenta las medidas tomadas en la mina para disminuir las afectaciones ocasionadas por la presencia de ruidos y gases contaminantes vertidos a la atmósfera por los procesos y equipos mineros, especialmente durante los trabajos de tratamiento y beneficio,

generación de energía y perforación y voladura. Los resultados de las investigaciones mostraron que en la mina se tiene previsto y se cumple un plan de medidas para disminuir dichas afectaciones, por lo que se valoró de muy alto, (5). Su nivel de importancia en el Potencial ambiental (PA), fue del 20 %.

El indicador de impacto hídrico (Iih), se valoró a partir de las afectaciones ocasionadas por las aguas superficiales y subterráneas a la actividad minera. Para ello fue necesario el uso de la Fórmula 28.

$$lih = 0,50 \times cag + 0,50 \times cas ; \quad (28)$$

Durante el análisis del comportamiento de la cantidad de agua superficial (cag), se tomaron en cuenta los datos existentes sobre el nivel de precipitaciones alcanzado durante los cinco años en la zona y el uso que posee el agua superficial en las operaciones mineras. Durante su valoración se comprobó que dichas aguas sirvieron de suministro con determinadas interrupciones para la realización de las operaciones mineras; por lo que este indicador se valoró de alto, (4). Su nivel de importancia en el Potencial ambiental (PA), fue del 50 %.

El estudio del comportamiento de la cantidad agua subterránea (cas), mostró que fueron elevadas, lo que provocó inundaciones en las excavaciones mineras, trayendo como resultado la paralización temporal de las actividades, por lo que se valoró de bajo (1). Su nivel de importancia en el Potencial ambiental (PA), fue del 50 %. De manera general, la valoración del indicador de impacto hídrico (Iih), fue de bajo, (2,5) y su nivel de importancia en el Potencial ambiental (PA), fue del 30 %.

Al valorar el indicador de impacto al suelo (Iis), se tuvo en cuenta las hectáreas afectadas por la ubicación de las instalaciones de superficie de la mina, así como por los deslizamientos de las laderas de las montañas. Los resultados mostraron que alrededor de la mina no se ha recuperado ninguna de las laderas afectadas, por lo que el indicador se valoró de muy bajo (1). Su nivel de importancia en el Potencial ambiental (PA), fue del 20 %.

El análisis del comportamiento del indicador de impacto ecológico (Iec), se realizó de modo similar al escenario anterior. Los resultados mostraron que no existen pérdidas en las especies de la región; de ahí que el indicador presentara valores muy altos (5). Su nivel de importancia en el Potencial ambiental (PA), fue del 15 %.

El indicador de calidad del paisaje (Icp), fue valorado por los mismos elementos identificados en la metodología propuesta en capítulo anterior. Para ello fue necesaria la aplicación de la Fórmula 29.

$$Icp = 0,20 \times dpa + 0,30 \times aae + 0,25 \times uso + 0,25 \times cva ; \quad (29)$$

Su análisis fue similar al realizado en el escenario anterior, con sus respectivas adaptaciones. Otras diferencias radican en lo siguiente: Para valorar la densidad de población cercana al área activa de explotación (dpa), se tomaron en cuenta que alrededor de la mina no existen poblaciones cercanas y que si existen trabajadores albergados dentro del área de la concesión minera; por lo que este parámetro se valoró de muy alto, (5). Su nivel de importancia fue del 20 %. La valoración del factor de área anual de explotación (aae), tomó en cuenta el rendimiento de cada cámara, los cuales fueron superiores al 90 %; por lo que valoró de muy alto (5). Su nivel de importancia fue del 30 %.

El análisis de la variable uso del suelo (uso), mostró como resultado un futuro uso forestal de las áreas rehabilitadas; lo cual es compatible con las característica de la región. Esto permitió valorar el parámetro de muy alto (5). Su nivel de importancia fue del 25 %. La valoración de la capacidad de visibilidad hacia el área de explotación (cva), mostraron que debido a la topografía, pendientes y otras barreras naturales de la zona en la cual está ubicada la mina, no es posible apreciar ninguno de los procesos tecnológicos mineros existentes desde la vía pública principal, por lo que su valoración fue de muy positiva (5). Su nivel de importancia fue del 15 %.

De manera general, el indicador de calidad del paisaje (Icp), se valoró de alto (4,50) y su nivel de importancia en el Potencial ambiental (PA), fue del 15 %.

Una vez determinados los indicadores ambientales de sostenibilidad, se valoró el comportamiento del Potencial ambiental (PA), a partir de sus componentes principales y la utilización de la Fórmula 30.

$$PA = 0,20 \times Iat + 0,30 \times Iih + 0,20 \times Iis + 0,15 \times Iec + 0,15 \times Icp ; \quad (30)$$

Los resultados reflejan valores de 3,37; (ver Tabla 7 de los Anexos), que según la escala descrita en la Tabla 1 del Capítulo III, expresan un desarrollo medio de este potencial.

Potencial minero, (PM)

El análisis del comportamiento de la producción minera (Ipm), se realizó a partir del grado de cumplimiento del plan anual exigido a la mina por la entidad superior. Los resultados demostraron que el grado de cumplimiento de dicho plan fue bajo oscilando entre el 50-77 %; por lo que se valoró de bajo (3,2). Su nivel de importancia en el componente Tecnología (TE), fue del 20 %.

La valoración de la utilización integral de los recursos minerales (Iur), mostró la presencia de otros minerales en las menas de cromo extraídas; las cuales y dada la tecnología empleada en la mina, no es posible su aprovechamiento ni tratamiento metalúrgico, por lo que este indicador se valoró de muy bajo, (1). Su nivel de importancia en el componente Tecnología (TE), fue del 5 %.

Durante la valoración del indicador del adelanto de la preparación minera (Itp), se demostró que uno de los principales problemas que influyó en los incumplimientos de los planes anuales de producción fue el atraso de los trabajos de preparación y corte con relación a los de arranque; por lo que recibió valores muy bajos (1) y su nivel de importancia en el componente Tecnología (TE), fue del 15 %.

El indicador de gestión minera (Ige), se valoró según los parámetros establecidos en la metodología propuesta en el Capítulo III y la aplicación de la Fórmula 31.

$$Ige = 0,50 \times nau + 0,50 \times ndi ; \quad (31)$$

Los resultados de la valoración del nivel de automatización (nau), muestran como las operaciones mineras hacen poco uso de los adelantos científicos y técnicos; por lo que experimentó valores muy bajos (1) y su nivel de importancia en el indicador de gestión minera (Ige), fue del 50 %. El análisis del nivel de diversificación (ndi), permitió comprobar que en la mina, no solamente se obtiene como producto final el rajón de cromo refractario; sino que existen otros productos secundarios (concentrado 0-1, 4-12 y las colas), que se pueden comercializar y no reciben uso; por lo que este indicador se valoró de muy bajo (1) y su nivel de importancia en el indicador de gestión minera (Ige), fue del 50 %. De manera general, el indicador de gestión (Ige), se valoró de muy bajo (1) y su nivel de importancia en el Potencial minero (PM), fue del 5 %.

El volumen de residuales (Ivr), se valoró a partir del uso y tratamientos que reciben la cantidad de escombros, grasas y colas producidas por la minería. La investigación arrojó que más del 75 % de estos materiales contaminantes no reciben utilización ni tratamiento, por lo que este indicador se valora de muy bajo (1). Su nivel de importancia en el componente Tecnología (TE), fue del 10 %.

El indicador de pérdidas mineras (Ipe), permitió valorar el comportamiento de las pérdidas cuantitativas (pca) y cualitativas (pcl) del mineral en esta etapa. Para ello, fue necesario el uso de la Fórmula 32.

$$Ipe = 0,50 \times pcan + 0,50 \times pcal ; \quad (32)$$

Según consta en los Balances Anuales de las Reservas Geológicas, [ECROMOA, (2003)], en la mina se produjeron considerables pérdidas cuantitativas de minerales, por lo que este parámetro se valoró de muy negativo (1) y su nivel de importancia en el indicador de pérdidas mineras fue del 50 %. El análisis del comportamiento de la dilución, provocó una valoración de muy baja (1,4) y su nivel de importancia en el indicador de pérdidas mineras del 50 %. De manera general, el indicador de pérdidas mineras (Ipe), se valoró de muy bajo (1,2) y su nivel de importancia en el componente Tecnología (TE), fue del 15 %.

La seguridad de los trabajos mineros (Ism), se valoró a partir de los principales indicadores de accidentes e incidentes que ocurrieron en cada año de la etapa analizada (1998-2002). Las investigaciones arrojaron como resultado que la mina excepto el año 1999; se comportó de manera segura para la realización de las operaciones mineras, por lo que este indicador alcanza valores altos (4). Su nivel de importancia en el componente Tecnología (TE), fue del 20 %.

La utilización de los espacios mineros (Iem), se valoró a partir del empleo que reciben las cámaras y excavaciones antiguas de la mina. Este indicador se valoró de muy bajo (1) y su nivel de importancia en el componente Cierre de las actividades mineras (CM), fue del 40 %.

El patrimonio geológico y minero (Ipg), valoró aquellos elementos patrimoniales y de valor histórico presentes en la mina. Durante la investigación se determinó que este patrimonio está muy poco estudiado y no se tiene en cuenta durante la planificación minera, por lo que los resultados de este indicador fueron muy bajos (1). Su nivel de importancia el componente Cierre de las actividades mineras (CM), fue del 30 %.

El proyecto de cierre de las actividades mineras (Ipc), tuvo en cuenta que en la mina no existe un proyecto o documentación técnica que reflejara acciones en este sentido, por lo que el indicador se valoró de muy bajo (1) y su nivel de importancia el componente Cierre de las actividades mineras (CM), fue del 30 %.

Una vez determinados los indicadores mineros de sostenibilidad, se valoró el comportamiento del Potencial minero (PM), a partir de sus componentes principales y utilizando las Fórmulas 33, 34 y 35.

$$TE = 0,20 \times Ipm + 0,05 \times Iur + 0,15 \times Itp + 0,15 \times Ige + 0,10 \times Ivr + 0,15 \times Ipe + 0,20 \times Ism ; \quad (33)$$

$$CM = 0,40 \times Iem + 0,30 \times Ipg + 0,30 \times Ipc ; \quad (34)$$

$$PM = 0,90 \times TE + 0,10 \times CM ; \quad (35)$$

Los resultados reflejan valores que oscilan entre 2,09 y 2,26 para un promedio de 2,19; (ver Tabla 8 de los Anexos), los que según la escala descrita en la Tabla 1 del Capítulo III, expresan un desarrollo insostenible.

Potencial socio-económico

El análisis del comportamiento de la capacidad de empleo (Ice), tuvo en cuenta la cantidad de empleados planificados y el comportamiento de este plan en la etapa. Los resultados mostraron un cumplimiento promedio del plan de un 91 %, por lo que este indicador se valoró de elevado, (4). Su nivel de importancia fue en el componente Fuerza de trabajo (FT), fue del 20 %.

El análisis del comportamiento de la profesionalidad de los trabajadores (Ipt), se valoró a partir de los parámetros establecidos en el capítulo anterior, por lo cual se aplicó la Fórmula 36.

$$Ipt = 0,50 \times npt + 0,50 \times cpt ; \quad (36)$$

El nivel profesional de los trabajadores (npt), se valoró a partir del grado cultural de los trabajadores de la mina. Los resultados de las investigaciones demostraron que más del 80 % de los trabajadores no poseen ningún tipo de calificación técnica y profesional por lo que es muy bajo, (1). Su nivel de importancia se valoró de un 50 %.

El nivel de superación y capacitación de los trabajadores (cpt), arrojó como resultado que solamente se cumplió con el 60 % de las acciones planificadas en la etapa, por lo que se valoró de medio, (3). Su nivel de importancia se valoró de un 50 %, tal como se refleja en la Tabla 19 del Anexo IV. 2. De manera general, el indicador profesionalidad de los trabajadores (Ipt), se valoró de bajo (2) y su nivel de importancia en el componente Fuerza de trabajo (FT), fue del 25 %.

Durante el análisis del nivel de satisfacción de la fuerza de trabajo (Isf), se comprobó que en los tres últimos años se incrementaron las quejas, motivadas por el pago de la estimulación y por algunos servicios no prestados; por lo que el indicador se valoró de medio, (3). Su nivel de importancia en el componente Fuerza de trabajo (FT), fue del 25 %.

La cantidad de obligaciones legales cumplidas (Icl), se valoró a partir de las principales obligaciones a cumplir establecidas a la mina. Este parámetro arrojó que la mina en la etapa analizada cumplió con este indicador, por lo que alcanzó valores muy altos, (5) y su nivel de importancia en el componente Relaciones comunitarias (RC), fue del 80 %.

Del análisis del nivel participativo comunitario (Inp), se pudo comprobar que al igual que en el escenario anterior, a pesar de desarrollarse algunas actividades aisladas con las comunidades de La Melba, Punta Gorda y Moa, no existió un plan de acción preestablecido en la mina con vista a organizar esta labor, por lo que el indicador se valoró de bajo, (2). Su nivel de importancia en el componente Relaciones comunitarias (RC), fue del 10 %.

Los análisis del indicador del valor social (Ivs), arrojaron como resultado que en la mina el 100 % de los trabajadores proceden de estas tres comunidades; y que la minería desde sus inicios, ha constituido la fuente principal de empleo para los habitantes de esta zona. Dicho indicador se valoró de muy elevado, (5). Su nivel de importancia en el componente Relaciones comunitarias (RC), fue del 10 %.

El comportamiento del costo unitario (Icu), mostró que en la unidad minera los costos siempre se mantuvieron por encima de los planificados, por lo que el este indicador se valoró de muy bajo, (1). Su nivel de importancia fue en el componente Mercado (ME), fue del 60 %.

El nivel de satisfacción de la demanda (Ins), tuvo en cuenta los principales clientes de la unidad minera. Las investigaciones arrojaron la existencia en estos años, de quejas relacionadas con la cantidad y calidad de mineral, por lo que se valoró el indicador de bajo (2,8). Su nivel de importancia en el componente Mercado (ME), fue del 40 %.

Una vez determinados los indicadores mineros de sostenibilidad, se valoró el comportamiento del Potencial socio-económico (PSE), a partir de sus componentes principales y haciendo uso de las Fórmulas 37, 38, 39 y 40.

$$FT = 0,50 \times Ice + 0,25 \times Ipt + 0,25 \times Isf ; \quad (37)$$

$$RC = 0,80 \times Icl + 0,10 \times Inp + 0,10 \times Ivs ; \quad (38)$$

$$ME = 0,60 \times Icu + 0,40 \times Ins ; \quad (39)$$

$$PSE = 0,35 \times FT + 0,30 \times RC + 0,35 \times ME ; \quad (40)$$

Los resultados reflejan valores que oscilan entre 2,40 y 2,54 para un promedio de 2,45; (ver Tabla 9 de los Anexos), los que según la escala descrita en la Tabla 1 del Capítulo III, expresan un desarrollo bajo de este potencial.

Geopotencial, (GP)

La valoración del Geopotencial (GP), se realizó a partir de los resultados obtenidos en cada potencial, (geológico, ambiental, minero y socio-económico) y aplicando la Fórmula 41.

$$GP = 0,25 \times PG + 0,25 \times PA + 0,25 \times PM + 0,25 \times PSE ; \quad (41)$$

Este cálculo arrojó como resultado valores mínimos de 2,70 y máximos de 2,73 para un promedio de 2,72; (ver Tabla 10 de los Anexos), lo cual según la escala propuesta en la Tabla 1 del Capítulo III, implica un desarrollo minero sostenible bajo, (ver Figura 2).

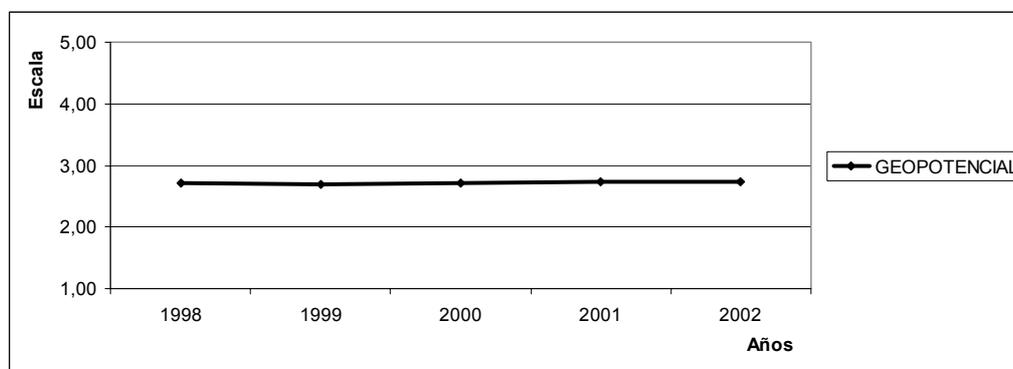


Figura 2. Valoración de Geopotencial en escenario de la mina Las Merceditas.

IV. 4 Conclusiones

1. La determinación del geopotencial en el escenario de la mina Comandante Ernesto Che Guevara, mostró valores medios hacia un desarrollo minero sostenible, cuyas causas principales son: el impacto negativo ocasionado por la minería a los componentes ambientales, el incumplimiento en el último año de los planes de producción; los atrasos de los trabajos de preparación, las pérdidas mineras, el abandono del patrimonio geológico y minero, la ausencia de un proyecto de cierre.
2. La determinación del geopotencial en el escenario de la mina Las Merceditas, señala valores bajos hacia un desarrollo minero sostenible. Las principales causas están determinadas por el impacto negativo ocasionado por la actividad minera al ambiente, el incumplimiento en los planes de producción, los atrasos de los trabajos de preparación, el volumen de escombros, la gestión minera, las pérdidas mineras, la tecnología empleada en la mina, la no utilización de los espacios mineros, el abandono del patrimonio geológico y minero, la ausencia de un proyecto de cierre de la mina, la baja profesionalidad de la fuerza de trabajo, el bajo nivel participativo comunitario, los costos de explotación y el bajo nivel de satisfacción de la demanda.

Un análisis resumen de la aplicabilidad del método desarrollado se brinda en la Tabla 22 del Anexo IV. 2, donde se reflejan las fortalezas y restricciones del proceso metodológico, de organización y desarrollo del SIS.

CONCLUSIONES

1. Los resultados de diagnóstico del geopotencial de las minas Comandante Ernesto Che Guevara y Las Merceditas, indican la necesidad de incorporar de manera integral aspectos minero-ambientales y socio-económicos, relevantes a la toma de decisiones en la gestión geominera. Deben por tanto, servir de base a una información altamente agregada y científicamente fundamentada para vincular las relaciones de las actividades de extracción mineral, con su impacto sobre el ambiente y su acercamiento al desarrollo minero sostenible deseado.
2. La metodología elaborada para el diseño de sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS), identificó un conjunto de indicadores de acuerdo a los potenciales geológico, ambiental, minero, y socio-económico, que

proporcionan una base útil para la toma de decisiones con relación al desarrollo minero sostenible de los escenarios estudiados.

3. El sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS), representa un núcleo de información integral, constituyendo una organización analítica. El modelo da lugar a tres tipos claves de indicadores necesarios, para abordar los temas del sector minero: de presión, de estado y de respuesta.
4. Para su perfeccionamiento, se aplicó un modelo científico, capaz de lograr la coherencia y consistencia del mismo, a partir de la vinculación estrecha entre el proceso minero y socio-económico que le dio origen.
5. La investigación demostró la necesidad de un sistema de indicadores para proyectar la explotación sostenible de los recursos minerales.

RECOMENDACIONES

1. Aplicar el sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS) propuesto durante el proceso de información y toma de decisiones de las empresas mineras con el objetivo de proyectar la explotación minera sostenible de los recursos minerales.