

Evaluación minero-ambiental del yacimiento polimetálico Castellano en la provincia de Pinar del Río*

Yasmany Fis Moreno

yfis@minas.ismm.edu.cu

Especialidad: Ingeniería en Minas

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

Resumen: Se determinó la influencia sobre el medio ambiente del proyecto polimetálico Castellano. Se aplicaron métodos empíricos y teóricos de la investigación científica y la metodología de Gómez-Orea (2003) para la valoración de los impactos. El cumplimiento del objetivo se logró a través de la descripción de la línea base ambiental del área de estudio, el análisis de las características del proyecto de explotación, la identificación y valoración de los impactos ambientales y la elaboración de medidas generales de mitigación de los impactos negativos. Como resultado del trabajo se identifican y evalúan 65 impactos ambientales productos del desarrollo del proyecto de explotación de plomo y zinc del yacimiento Castellano, de ellos 32 positivos y 33 negativos, clasificados 8 de Muy Altos y 20 de Altos.

Palabras clave: Impacto ambiental; yacimiento polimetálico; mitigación de impacto.

* Trabajo tutorado por la Ms. C. Ana C. Che Viera, la Dra. Mayda Ulloa Carcassés y la Dra. Estrella Milián Milián.

Recibido: 12 abril 2016 / Aceptado: 3 marzo 2017.

Mining-environmental assessment of the Castellano polymetallic deposit in the province of Pinar del Río

Abstract: The influence on the environment of the Castellano polymetallic project was determined. Empirical and theoretical methods of scientific research and the methodology of Gómez-Orea (2003) were applied for the evaluation of impacts. Compliance with the objective was achieved by describing the environmental baseline of the study area, analyzing the characteristics of the exploitation project, identifying and assessing environmental impacts, and developing general mitigation measures. Negative results. As a result of the work, 65 environmental impacts of the development of the project of exploitation of lead and zinc of the Castellano deposit are identified and evaluated, of them 32 positive and 33 negative, classified 8 of Very High and 20 of Highs.

Key words: environmental impact; polymetallic deposit; impact mitigation.

Introducción

El proyecto polimetálico Castellano es una de las principales inversiones de la provincia de Pinar del Río y junto a otras dos inversiones mineras constituyen una importante fuente económica para el municipio de Minas de Matahambre. Por su trascendencia económica numerosos investigadores han estudiado el yacimiento. Ponce, Alfonso & Cañete (1997) predicen y evalúan los impactos ambientales en obras mineras y metalúrgicas ubicadas en el municipio de Minas de Matahambre, poblado de Santa Lucía. Abordan la problemática ambiental de forma general y revelan los problemas ambientales. Con el abandono de la mina los problemas se acrecentaron.

Milián (2006) aporta una metodología para la identificación y evaluación de impactos ambientales para yacimientos piríticos polimetálicos. Realizó la identificación de los principales impactos ambientales generados por el yacimiento Santa Lucía con el empleo de la Matriz de causa efecto de Leopold All, obteniendo, además, que las variables ambientales más afectadas por las acciones del proyecto en el caso de estudio yacimiento polimetálico Santa Lucía son las aguas superficiales y subterráneas, la calidad del aire, el relieve, la fauna y la flora.

Cañete y otros (2008) identifican los problemas ambientales presentes en este yacimiento, que son generados en lo fundamental por la falta de ejecución de las acciones de rehabilitación en los depósitos, las escombreras y frentes de explotación. En 2011 Cañete y otros realizan un estudio integral de la degradación ambiental generada por los impactos ambientales en Santa Lucía y Castellano. Constatan los elevados niveles de contaminación presentes en las aguas superficiales generadas por el drenaje ácido de minas y los principales riesgos presentes en la zona. Los resultados del estudio aportan un soporte teórico sobre los daños que provoca al medio el Pasivo Ambiental Minero Santa Lucía y Castellano, pero no profundizan en el aspecto minero.

La gestión de la rehabilitación minera en estos yacimientos no se ha resuelto. Se han realizado acciones preliminares entre las que se pueden mencionar: el Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) desarrollado por la Compañía Especializada en Soluciones Integrales Geográficas y Medio Ambientales (CESIGMA) en el año 2007 y el Proyecto Ramal Identificación de Pasivos Ambientales Mineros de Delgado y otros (2010) donde se realizó un inventario de los pasivos ambientales mineros presentes en los 29 yacimientos de Santa Lucía y Castellano que actualmente constituyen fuentes

generadoras de contaminación. Del análisis de los resultados se concluye que la calidad ambiental en Santa Lucía es crítica, provocada, fundamentalmente, por la degradación ambiental del Pasivo Ambiental Minero y por la cantidad de elementos pesados que presentes en las muestras procedentes del yacimiento.

Todos los investigadores coinciden en que los altos niveles de contaminación, generados por el drenaje ácido de minas y metales pesados, han provocado la degradación ambiental de ecosistemas importantes en la región de estudio. El objetivo de esta investigación consiste en realizar una evaluación minero-ambiental del yacimiento polimetálico Castellano de la provincia de Pinar del Río, que permita establecer los efectos que produce sobre el medio ambiente y proponer medidas que contribuyan a minimizar los impactos negativos.

Materiales y métodos

El trabajo se desarrolló a través de dos etapas:

1. Etapa preliminar: Recopilación de materiales y trabajo de campo.
2. Etapa de gabinete: Procesamiento de la información y elaboración del informe final.

Metodología de evaluación de impacto ambiental

Las clasificaciones más generales de los sistemas de evaluación de impactos (IGME, 1999; Arce, 1993; Conesa, 2007; Espinoza, 2002) agrupan los métodos según el siguiente esquema:

- Lista de chequeo
- Matrices causa-efecto
- Redes de interacción
- Sistemas cartográficos
- Modelación matemática.

Las listas de chequeo son unos métodos de identificación muy simples, por lo que se usan para evaluaciones preliminares. Sirven primordialmente para llamar la atención sobre los impactos más importantes que puedan obtenerse como consecuencia de la relación de un proyecto.

Las matrices de causa-efecto consisten en un listado de acciones y otro de indicadores de impacto ambiental, que se relacionan en un diagrama matricial. Son muy útiles cuando se trata de identificar el origen de ciertos impactos; pero tienen limitaciones para establecer interacciones, definir impactos secundarios o terciarios y realizar consideraciones temporales o espaciales.

La metodología utilizada para la evaluación fue la de Gómez-Orea (2003), mediante la cual se jerarquizan los impactos identificados y se valoran para conocer su importancia, con el objetivo de efectuar una evaluación global que permita obtener una visión integrada y sintética de la incidencia ambiental del proyecto.

Localización geográfica del yacimiento polimetálico Castellano

El proyecto está ubicado a 3 km del poblado de Santa Lucía, dentro de los límites del municipio de Minas de Matahambre, provincia de Pinar del Río. El área de 698,3 ha comprende las minas Castellanos y Santa Lucía (Figura 1).

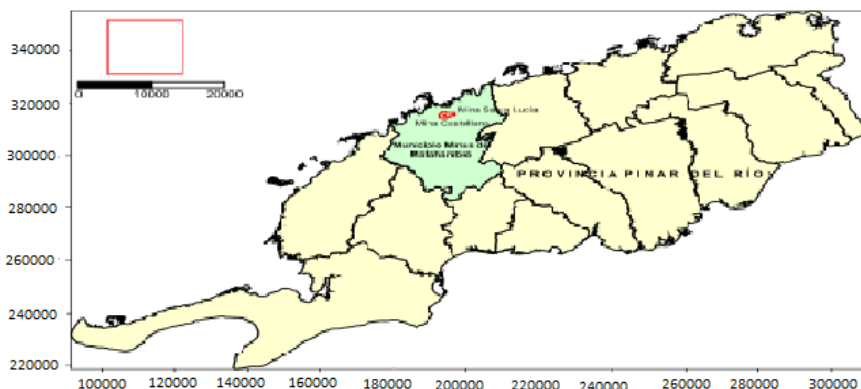


Figura 1. Localización geográfica del proyecto minero polimetálico Castellano-Santa Lucía.

Características generales del proyecto polimetálico Castellano

Entre las ventajas del proyecto polimetálico Castellano se encuentran la existencia de una tecnología tradicional, el desarrollo de una parte importante de la infraestructura y de las obras necesarias que incluyen la localización en las cercanías del asentamiento La Sabana y la empresa Geo-minera Pinar del Río, con el personal calificado, posibilidades de obtener servicios y otros elementos necesarios. El depósito Santa Lucía, a 2 km, con recursos de menas polimetálicas, con diferentes características tecnológicas puede constituir una fuente adicional de materia prima para la empresa minera que pudiera alargar la vida útil del proyecto en 20-25 años.

El plan de extracción de la mina se diseña para toda la vida útil estipulada en unos 11 años. Se explotarán dos minas a cielo abierto, con profundidades de 250 m y radio de 1 km. El área total de explotación para ambas minas, oeste y este, se calcula en unas 28,14 ha. El piso de explotación establecido corresponde a la cota -126 m y -96 m. El material estéril se utilizará en la construcción del muro de la presa de cola.

Se construirán una presa de colas, un depósito de capa vegetal y tres escombreras, que totalizarán, además de la planta de beneficio, talleres y edificaciones administrativas, para un área total de 212,5 ha.

La tecnología que se propone es el método de beneficio hidro-metalúrgico convencional con la variante de la automatización de los sistemas de la planta de beneficios. Se tratan en lo fundamental seis áreas:

- Área de trituración y cribado;
- Área de molienda y clasificación;
- Área de flotación, espesamiento, filtrado y secado de plomo;
- Área de flotación, espesamiento, filtrado y secado de zinc;
- Área de preparación y dosificación de reactivos;
- Área de tratamiento y distribución de aguas.

Sistema de explotación utilizado en el yacimiento polimetálico Castellano

El esquema de flujo tecnológico es el tradicional, conocido y aplicado en operaciones mineras a cielo abierto y plantas de procesamiento de minerales similares. Los materiales a emplear en el proceso de beneficio consisten fundamentalmente en agua, minerales y un grupo de reactivos.

La secuencia de actividades básicas en la explotación será: desbroce, destape, arranque, carga y transporte. Las actividades de aseguramiento serán: formación de depósito de colas, formación de escombreras, depósito de capa vegetal, construcción y mantenimiento de los caminos, etc.

Los bancos se diseñaron con alturas de 6 m, para una extracción más selectiva del mineral y la disminución de las pérdidas y la dilución. Los bancos de estéril, en modo operativo, podrán unirse dos, alcanzando hasta los 12 metros de altura, considerando especialmente ubicación y características geomecánicas.

Los ángulos del talud de los bancos individuales se proyectan de la siguiente forma:

Pizarras del pendiente (PP) - 70° Pizarras del yacente (PY) - 55°
Areniscas del pendiente (AP) - 80° Areniscas del yacente (AY) - 60°.

Considerando las diferentes litologías presentes en el yacimiento y según el estudio geo-mecánico realizado, el 52 % del material estéril se considera que tiene baja resistencia, los planos de estratificación estrechamente espaciados, con bajo coeficiente de fricción y cohesión; entonces se consideró utilizar una berma de seguridad entre los escalones, según se corresponda con la litología presente en él. Las bermas serán:

Pizarras del pendiente (PP) – 4 m Pizarras del yacente (PY) – 5 m
Areniscas del pendiente (AP) – 3 m Areniscas del yacente (AY) – 4 m.

La plataforma de trabajo se ha determinado según las dimensiones del equipamiento a operar en los frentes, características del mineral y de la tecnología de extracción a utilizar. La plataforma de trabajo se calculó con ancho mínimo de unos 35 m.

El ancho de las trincheras de apertura de los niveles diseñados será de 13,50 m. Para la superficie de rodamiento de los caminos se utilizará la técnica de la penetración invertida. Los caminos de transporte y áreas de carga en pizarra, requerirán mejoramiento de suelo con revestimiento del camino. Se considera un revestimiento de unos 30-60 cm de arena en las áreas de pizarra.

Por las propiedades físico-mecánicas del mineral y del estéril, el arranque se efectuará con trabajos de perforación y voladuras y con arranque directo.

La tecnología de arranque será:

- Para capa vegetal: escarificación, arranque y apilado;
- Para mineral: perforación y voladuras;
- Para el estéril: las pizarras serán arrancadas de forma directa utilizando retroexcavadora y las areniscas se arrancará con voladuras de remoción y localmente con voladuras de fracturación.

En los trabajos de perforación y voladuras el diámetro de perforación se consideró de 171,5 mm, tanto para el mineral como para el estéril, y se ha seleccionado debido, principalmente, al volumen de arranque necesario, las características de las rocas, los

costos de perforación y los efectos de impacto ambiental (polvo, ruidos, vibraciones, etc.) que provoca inevitablemente esta actividad.

Perforación de barrenos, con inclinación de 80° para el mineral y de 70° para el estéril. Se dispondrán al tresbolillo, para buscar una mejor y uniforme fragmentación del material.

La carga del mineral se hará con retroexcavadoras con capacidad de cuchara de 3 m³, la cual descargará en un camión de volteo. Este equipo garantiza una mayor operatividad durante la explotación, lográndose mayor perfilado en el arranque y por tanto mayor selectividad. Las dimensiones del equipo garantizan la altura de descarga mínima permisible en correspondencia con la altura del equipo de transportación.

Para trasladar el material se usará camión de volteo de 40 t. Las distancias desde la mina hasta los diferentes puntos serán:

Mina - Planta de molienda primaria...	1,2 km
Mina - Escombrera.....	0,5 km
Mina - Depósito de capa vegetal.....	0,5 km
Mina - Depósito de cola.....	1,3 km

La distancia de tiro para toda la vida de la mina será: desde el fondo y hasta la trinchera general de apertura en el punto X=8562,8; Y=6273,4 (coordenadas locales) para la mina Este de 1,7 km y para la mina Oeste de 2 km. La distancia media estimada para toda la mina es de 1,9 km.

El abastecimiento de agua del complejo será de la presa Nombre de Dios, que tiene una capacidad de 17 000 000 m³, mediante una conductora que suministrará un flujo de 12 100 m³/día. Este volumen de agua se dividirá en agua de uso industrial y social.

El agua de uso social tendrá un consumo de 60 m³/día, se obtendrá de la presa y se le dará un tratamiento en una planta potabilizadora. El consumo industrial de agua será de 13 680 m³/día. El agua será bombeada desde una estación de bombeo situada en dicha laguna por medio de una bomba centrífuga de 570 m³/h; de aquí se impulsará el agua hasta un tanque de 1 500 m³ que se encuentra en el área de la planta, la cual abastecerá a la red de agua industrial.

La laguna de agua industrial se construirá con las dimensiones de 50 m x 200 m, una altura para la lámina de agua de 3 m y borde libre de 1,5 m; para una profundidad total de 4,5 m y los taludes serán de 2:1. La red se construirá con tuberías y accesorios de polietileno de alta densidad y acero galvanizado.

Características, composición y volumen estimado de escombros

El punto de vertimiento de escombros es el depósito de colas (TSF) se sitúa al este de la mina a cielo abierto Castellano.

La TSF tiene capacidad 12,3 Mt de colas Pb-Zn producidos por la planta de beneficio y procesamiento mineral Castellano, sobre la base actual la capacidad de la presa es suficiente para evacuar un total de 10,45 Mt de relave. Estas cantidades se basan en un diseño de ingeniería básica a un nivel preliminar.

El mineral de Pb-Zn extraído de la mina a cielo abierto Castellanos será procesado en la planta, que incluye circuitos de trituración y molienda con la reducción progresiva tamaño previsto a través de circuitos de remolido, seguido de flotación para la separación por espuma de estos minerales.

Las vetas de mineral de cobre y oro extraído del mineral oxidado de la misma mina serán almacenados por separados ya que actualmente no está planificado su procesamiento.

Además de los parámetros de diseño de producción se ha tenido en cuenta:

- Drenaje ácido de roca;
- Topografía y la vegetación;
- Los estudios preliminares del balance hídrico;
- Drenaje del agua;
- Geoquímica.

En el diseño del depósito de colas se tiene en cuenta para su construcción el régimen de almacenamiento (Figura 2). Este diseño puede ser modificando en caso de que el mineral polimetálico de la mina Santa Lucía en algún momento en el futuro sea procesado en la misma planta de Castellanos.

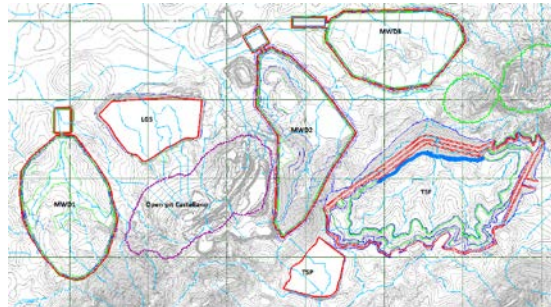


Figura 2. Disposición de escombreras de minas y zonas de acopio.

En el diseño del depósito de colas se tiene en cuenta para su construcción el régimen de almacenamiento (Figura 3). El diseño puede ser modificado en caso de que el mineral polimetálico de la mina Santa Lucía sea procesado en la misma planta de Castellanos. Los parámetros de diseño de las presas de colas son:

Años de operación 11 años

Producción de colas: 0,95 Mtpa

Producción total de colas: 10,45 Mt

Peso específico Colas: 3,1

Mineralogía: Mineral sulfurado

Densidad seca de las colas finales: 1,54 t/m

Colas densidad de pulpa: 22,3 %

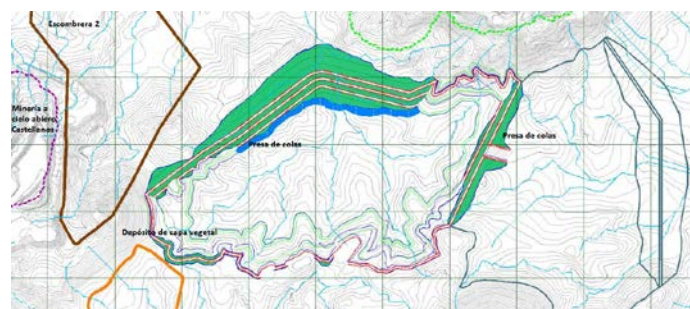


Figura 3. Área de localización de la presa de colas.

En el almacenamiento de colas el esquema que se adopta es un sistema de cubierta húmeda para minimizar el potencial de generación de ácido bajo condiciones oxidantes. Para la descarga del exceso de agua se ha previsto un vertedero.

Las características de las presas de cola son:

- Profundidad mínima del agua por encima de lo establecido para las colas 1,5 m.
- Reciclaje máximo de fluido desde la presa de colas es de 450,0 m³/h.
- Elevación mínima del embalse de la presa de colas en la fase 1 será de 28,94 m.
- Máxima elevación del embalse de la presa de colas en la fase 1 será de 43 m.

- Área máxima del embalse de colas en la fase 3 será de 524 000 m.
- Volumen máximo del embalse de colas en la fase 3 será de 6,958 600 m.
- Producción de la mina será de 1 000 000 tpa.
- Producción de colas 950,200 tpa.
- Sólidos en la descarga 22,3 %.
- Agua retenida en las colas 32 %.

Se consideró utilizar desechos mineros para construir el muro de la presa que se levantará durante las etapas de la mina. La propuesta de cierre es crear una cúpula sobre el TSF para la corona de la presa.

Los volúmenes de los depósitos de mineral de baja ley y de tierra vegetal se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales parámetros del depósito de baja ley y de capa vegetal

	Depósito de baja ley (LGS)	Capa de tierra vegetal (TSP)
Volumen	3,54 mm ³	1,96 mm ³
Área	22,3 Ha	9,9 Ha
Máxima elevación del suelo	45,0 m	60,0
Mínima elevación del suelo	42,5 m	17,5m

Definición del área de impacto

El área de impacto del proyecto tiene dos alcances:

- El área de influencia directa, que coincide con el territorio donde se desarrollan las diferentes actividades de la explotación (extracción, procesamiento y transporte).
- El área de influencia indirecta, definida por el alcance de los impactos que se desarrollan a partir de estas actividades en los diferentes componentes del medio ambiente.

Todas esas áreas están cercanamente asociadas unas con otras, probablemente representando originalmente un cuerpo mineral estratiforme (Cu, Pb, Zn, y Ba) emplazado en una secuencia de pizarras carbonáceas, con zonas de alimentación (*stockwork*) de pirita, calcopirita emplazada dentro de la subyacente arenisca del yacente de la formación San Cayetano. Subsecuentes sobrecorrimientos y fallamientos transversales han fracturado el depósito en series de bloques individuales.

De la información geológica regional disponible la dimensión original del depósito probablemente fue de 8 km x 8 km.

Desde el punto de vista fitogeográfico el área de estudio se encuentra en el distrito Alturas de Pizarras o distrito Pinarense, el cual es considerado pobre en endemismos propios por constituir un corredor de especies compartidas con distritos vecinos como el Sabaloense al sur, occidente y noroccidente y Cajalbanense al nordeste (Figura 4).

La base económica del municipio de Minas de Matahambre se sustenta en sus propias potencialidades naturales, a partir del peso de la rama forestal, del sector agropecuario y de la minería, resentida en los últimos años. El turismo, a pesar de sus favorables condiciones (playas, accesos, valores naturales y paisajísticos) no ha encontrado eco suficiente dentro del espectro económico del municipio, pero bien pudiera convertirse en una línea futura de desarrollo. La actividad portuaria es escasa, muy vinculada a la rama química presente en Santa Lucía. En general, puede plantearse que la asimilación de los recursos naturales disponibles es aún insuficiente y puede ser potenciada considerablemente.

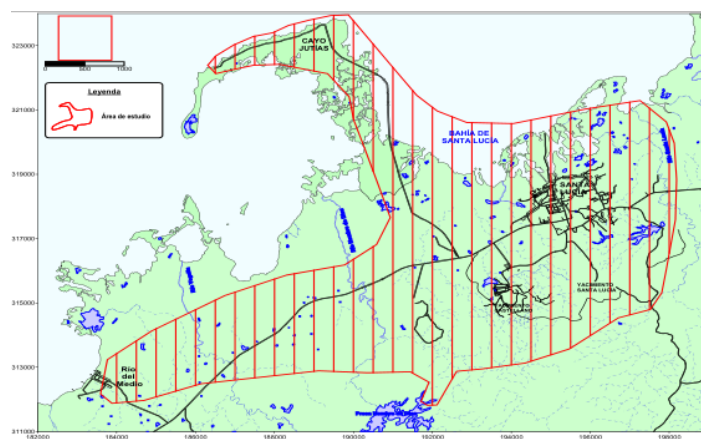


Figura 4. Áreas del proyecto de explotación minero-metalúrgico Castellano-Santa Lucía.

Dentro de las organizaciones económicas de mayor relevancia figuran la Empresa Forestal Integral Minas de Matahambre, la Empresa de Sulfometales Patricio Lumumba, la Empresa Geo-minera de Pinar del Río, involucrada con el presente proyecto inversionista, las Empresas Pecuaria y de Cultivos Varios de Minas de Matahambre y la de Acopio y Beneficio del Tabaco.

Identificación de los impactos en las etapas de desarrollo del proyecto

A partir del análisis de las acciones del proyecto que producen alteraciones en el medio o en algunos de sus componentes y de las condiciones del medio se determinaron los impactos ambientales, usando listas de chequeo y escenarios comparados, así como tormenta de ideas.

Las listas de chequeo constituyen un método simple de interrelación causa/efecto y se utilizan en evaluaciones preliminares. Al listado suele acompañarse un informe que describe con detalle las posibles variaciones de cada factor ambiental, considerando y estimando su importancia para el caso en cuestión. Estas son muy recomendables en las primeras etapas del EsIA.

Para identificar los impactos primero se identificaron las acciones del proyecto que pudieran ejercer influencia en el territorio desde el punto vista ambiental:

Acciones que modifican el uso del suelo.

Acciones que implican la emisión de contaminantes (sólidos, líquidos y gases).

Acciones que aumentan los niveles sonoros (maquinarias, transporte y molienda).

Acciones que implican sobre-explotación de recursos (agua).

Acciones que implican la modificación del paisaje.

Acciones que repercuten en las infraestructuras.

Acciones que modifican el entorno social, económico y cultural.

Las acciones previstas que pueden causar impactos ambientales son:

Fase Constructiva

A. Movimiento de tierra: Desbroce y descortezamiento de la capa vegetal, corte, relleno, y conformación del depósito de colas, de escombreras, plataformas y diques y el basamento para la construcción de las edificaciones y viales.

B. Construcción y montaje de las plantas de procesamiento del mineral, planta de tratamiento de agua potable y planta de tratamiento de residuales.

C. Construcción de las obras inducidas: camino minero, rehabilitación y construcción de la red de suministro de agua de la Presa Nombre de Dios, facilidades administrativas, planta de beneficio, tanque de sedimentación, Batey Minero y obras hidráulicas asociadas entre otras.

D. Montaje de las redes técnicas.

En la fase de explotación:

- E. Descortezamiento de vegetación, suelo y su disposición en áreas de explotación;
- F. Extracción del mineral (Arranque);
- G. Carga y transporte del mineral;
- H. Trituración del mineral;
- I. Disposición y conformación del material estéril y colas;
- J. Concentración del mineral (Molienda, clasificación, flotación, espesamiento y filtración);
- K. Tratamiento, disposición y manejo de los residuos sólidos y líquidos del proceso.

En la fase de cierre:

- L. Rehabilitación final de Escombreras y Coleras;
- M. Transportación de material de relleno y de suelo;
- N. Relleno de los pits y canalizaciones;
- O. Desmantelamiento y retirada de las instalaciones, equipos y maquinarias;
- P. Descompactación y creación de suelos;
- Q. Plantación de especies que faciliten la recuperación de la biodiversidad.

Los factores ambientales que pueden ser perturbados por las acciones previstas son:

- | | |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| I. Litología (Formaciones geológicas) | XII. Vegetación y flora terrestres |
| II. Relieve | XIII. Fauna terrestre y acuática |
| III. Suelos | XIV. Ecosistemas marinos |
| IV. Calidad del aire | XV. Estética del paisaje |
| V. Calidad sonora | XVI. Población |
| VI. Sedimentos | XVII. Trabajadores |
| VII. Escurrimiento superficial | XVIII. Viales |
| VIII. Escurrimiento subterráneo | XIX. Infraestructura |
| IX. Aguas superficiales | XX. Economía |
| X. Aguas subterráneas | XXI. Recursos e insumos |
| XI. Aguas marinas | XXII. Medio ambiente |

Los impactos potenciales que pudieran ocurrir con la realización del proyecto se identifican al examinar detalladamente la compleja interacción entre las acciones del proyecto y los componentes del medio (factores ambientales).

Para la fase de cierre de la mina se tuvo en cuenta los impactos producidos productos de la explotación minera.

Relación de impactos ambientales asociados a la fase de construcción

Positivos

- Aumento del bienestar de la población por incremento del movimiento local de pasajeros a partir de los vehículos empleados en la transportación de los trabajadores contratados por la empresa minera.
- Incremento en la oferta de empleo para la población por las actividades constructivas y de preparación de la actividad minera.
- Aumento de ingresos indirectos de la población local por la revitalización de la actividad minera.
- Mejora en el nivel adquisitivo de los trabajadores por concepto de salarios y otras variantes de remuneración.
- Ampliación y mejoramiento de la red vial existente como obras inducida de la explotación minera.
- Incremento del patrimonio industrial minero.
- Beneficios a entidades del sector geólogo-minero por restauración de infraestructuras e incremento de viales.
- Incremento de ingresos a terceras partes por contratación de servicios y fuerza de trabajo, compras de materiales e insumos.
- Incremento en los indicadores globales de la economía (salario, producción mercantil, promedio de trabajadores, entre otros) del municipio, por efectos de la fase constructiva de la revitalización de la actividad minera.

Negativos

- Modificaciones al relieve por movimiento de tierra para conformación del depósito de colas, de escombreras, las plataformas y diques, y el basamento para la construcción de las edificaciones e instalaciones y los viales.
- Pérdida local de suelos por el movimiento de tierra.

- Contaminación de los suelos por acumulación de desechos sólidos provenientes de las acciones constructivas.
- Contaminación a la atmósfera por partículas suspendidas, emisiones gaseosas y ruidos provocados por acciones constructivas y funcionamiento de maquinarias.
- Modificación del proceso de formación del escurrimiento superficial de las áreas en construcción y la preparación de explotación minera, escombreras y depósito de colas.
- Contaminación de las aguas superficiales por el arrastre accidental de sedimentos y materiales.
- Contaminación de las aguas superficiales por derrames accidentales de combustibles y/o grasas y aceites, provocadas por roturas, negligencia u otras causas.
- Pérdidas de cobertura vegetal como resultado de las acciones del movimiento de tierra.
- Molestias a la población residente por partículas suspendidas dispersas como consecuencia de las actividades de la fase constructiva.
- Incremento probable de los accidentes de tránsito por aumento del tráfico terrestre.
- Probabilidad de ocurrencia de accidentes de trabajo durante las operaciones constructivas.

Relación de impactos ambientales asociados a la fase de explotación

Positivos

- Mayor disponibilidad de empleo para la población residente por el incremento de puestos de trabajo en actividades mineras y de apoyo.
- Aumento de ingresos indirectos de la población local por la revitalización de la actividad minera
- Contribución a la conservación de las tradiciones y el acervo cultural minero de la población local.
- Posible reversión de los saldos migratorios negativos a partir de la ocupación de nuevos empleos, directos e inducidos por el proyecto de explotación.
- Incremento del conocimiento de nuevas tecnologías por parte de los trabajadores
- Mejora en el nivel adquisitivo de los trabajadores por concepto de salarios y otras variantes de remuneración.
- Incremento de la educación ambiental de los trabajadores a partir de un Programa de Educación Ambiental.

- Aumento de los ingresos a la economía nacional por concepto de exportaciones, utilización de fuerza de trabajo u otros renglones.
- Incremento en los indicadores globales de la economía (salario, producción mercantil, promedio de trabajadores, entre otros) del municipio por efectos de la revitalización de la actividad minera.
- Cambios estructurales favorables en la base económica del territorio debido a su diversificación económica.
- Mejoramiento de las condiciones ambientales actuales en el territorio por efecto de las acciones previstas en el proyecto.
- Aumento de la calidad de vida de la población por incremento de la disponibilidad de agua de consumo por la rehabilitación de la presa en el río Nombre de Dios y la disponibilidad de una planta potabilizadora para agua para consumo.
- Aumento del bienestar de los trabajadores por incremento de vehículos destinados a su transportación.

Negativos

- Alteración del substrato rocoso por extracción minera.
- Modificaciones al relieve por laboreo minero, explosiones, excavaciones y conformación de escombreras y depósitos de colas.
- Contaminación de los suelos en el área de influencia del proyecto por derrames accidentales (petróleos y aceites).
- Aumento de las emisiones de partículas suspendidas provenientes de diversas fases del proceso (voladura, carga, acarreo, entre otros).
- Contaminación del aire por emisiones de gases de escape por combustión de vehículos y motores.
- Emisiones de partículas desde las escombreras en dependencia de la humedad del material depositado y la velocidad del viento.
- Contaminación de las aguas terrestres por la actividad de explotación minera.
- Reducción local de la visibilidad por dispersión de partículas a partir de las voladuras bajo determinadas condiciones sinópticas.
- Incremento de los niveles de ruido por distintas operaciones mineras.
- Incremento de la posibilidad de accidentes laborales.
- Afectación de las poblaciones florísticas como consecuencia de cambios en el ecosistema por la actividad de exploración geológica.

- Afectación a la estética del paisaje por excavación, escombreras, los pits y otras actividades propias de la minería a cielo abierto.
- Afectaciones a la salud de la población por aumento de los niveles de polvo y ruido por la explotación y la transportación del mineral hasta el puerto de Santa Lucía.
- Incremento de incidencia de accidentes debido al incremento del tráfico terrestre.
- Aumento de la probabilidad de afectaciones a la salud de los trabajadores debido a la naturaleza del proceso productivo.
- Posibilidad de afectaciones estructurales a inmuebles por efecto de las explosiones empleadas en el laboreo minero.
- Aumento del consumo de agua, electricidad y combustible.
- Relación de impactos ambientales asociados a la fase de cierre.

Positivos

- Modificaciones al relieve por relleno, conformación final, estabilización de taludes y rehabilitación de áreas de excavación.
- Rectificación del escurrimiento superficial en el área de explotación hacia los naturales.
- Mejoramiento del suelo por adición de capa vegetal.
- Mejoramiento de la calidad del aire por el cese de las actividades mineras y la repoblación forestal.
- Recuperación de la calidad sonora por el cese de las actividades mineras.
- Mejoramiento de la calidad de las aguas superficiales y marinas por disminución del arrastre de contaminantes a partir de la explotación.
- Rehabilitación de hábitats para el retorno de la fauna.
- Mejoramiento a la calidad estética del paisaje posterior a la explotación minera.
- Disminución del consumo de agua, electricidad y combustible.
- Disminución de las cargas contaminantes que afectaban los diferentes elementos del medio ambiente por el cese de la explotación minera.
- Mejoramiento de las condiciones ambientales en el área de influencia de la explotación minera por repoblación forestal.

Negativos

- Afectación temporal a la calidad de la atmósfera por ruidos, gases y partículas a partir de las labores de rehabilitación.
- Pérdida de puestos de trabajo.

- Disminución en el nivel de ingreso a los trabajadores.
- Disminución de ingresos a la economía local y nacional por el cese de la explotación minera.

Para la valoración de la importancia de los impactos se aplicó la fórmula que consideran seis indicadores y potencia la intensidad y la extensión del impacto. Los valores de cada indicador se tomaron de la Tabla 2 a través de consultas a expertos, tormenta de idea y escenarios comparados.

$$I = \pm[3M + 2 EX + MO + PE + RV]$$

Tabla 2. Rango de valores de los indicadores de importancia de impactos

Naturaleza		Magnitud (Grado de destrucción)	
Impacto Beneficioso	+	- Baja	1
Impacto Perjudicial	-	- Media	2
		- Alta	4
		- Muy Alta	8
		- Total	12
Extension (Ex) (Área de influencia)		Momento (Mo) (Plazo de manifestación)	
Puntual	1	- Largo Plazo	1
Parcial	2	- Mediano Plazo	2
Extenso	4	- Inmediato	4
Total	8	- Crítico	(+4)
Crítica	(+4)		
Persistencia (Pe) Permanencia del efecto		Reversibilidad (Rv)	
Fugaz	1	- Corto Plazo	1
Temporal	2	- Mediano Plazo	2
Permanente	4	- Irreversible	4

La Tabla 3 muestra los valores para determinar el grado de significación de cada impacto.

Tabla 3. Grado de significación del impacto

Valores	Grado de significación
>20	Muy alto
18-20	Alto
16-18	Medio
13-15	Bajo
10-12	Muy bajo

Tabla 4. Clasificación de los impactos según el grado de significación

	Construcción	Explotación	Cierre	Total
Muy alto	0	1	7	8
Alto	2	14	4	20
Medio	13	6	3	22
Bajo	2	5	0	7
Muy bajo	3	4	1	8
Total	20	30	15	65

En el área del yacimiento Castellano se exhiben impactos temporales comunes a todas las construcciones como: contaminación del aire por sólidos en suspensión y gases, incremento de los niveles de ruido, posibilidad de ocurrencia de accidentes en carreteras y afectación a la fuerza de trabajo por la posibilidad de accidentes laborales.

Por otra parte, se dan impactos permanentes comunes como: modificación de las formas del relieve, variación del régimen de escurrimiento e infiltración de las aguas, pérdida de la vegetación, modificación del suelo, muerte o migración de la fauna.

Los impactos que más sobresalen son:

- Modificaciones al relieve por movimiento de tierra para la construcción de facilidades e instalaciones (I = 20).
- Modificaciones al relieve por laboreo minero, excavaciones y conformación de escombreras y depósitos de colas, el consumo de agua y el de electricidad.
- Aumento del volumen de ingresos por venta del mineral extraído, agotamiento de los recursos minerales.
- Incremento del tráfico terrestre, pérdida del substrato rocoso por extracción minera.
- Disminución del caudal de los ríos La Palma y Santa Lucía.
- Disminución o desaparición de la red fluvial del río La Palma y arroyos, los cuales pasarán a ser flujos efímeros de tormenta a medida que se profundice la cantera.
- Muerte y migración de individuos de la fauna por el movimiento de tierra, laboreos mineros y construcción de presa de colas y escombreras.
- Disminución de la fauna acuática por la construcción de los embalses.
- Muerte de especies de la fauna terrestre y acuática por contaminación de las aguas.
- Afectación a los pobladores por la posible disminución del nivel del agua freática en pozos criollos.
- Mejora de la atención a la salud de los trabajadores con la creación de puestos médicos; incremento de infraestructuras, tanto por nuevas instalaciones productivas como por objetos de obra inducidos y de beneficio social (conductora de agua, potabilizadora, transporte obrero, redes eléctricas).
- Pérdidas económicas debido a la ocurrencia de fenómenos naturales extremos.

Conclusiones

La evaluación minero-ambiental del yacimiento polimetálico Castellano de la provincia de Pinar del Río permitió establecer los efectos que produce sobre el medio ambiente y proponer medidas que contribuyan a minimizar los impactos negativos.

La descripción de la línea base ambiental confirmó que el área de estudio del proyecto ha sido explotada con anterioridad con varios fines (minería, agricultura, ganadería, forestal, entre otros) y que las alteraciones antrópicas producidas han modificado el paisaje, la vegetación y las condiciones naturales.

En el análisis del proyecto de explotación se determinaron las acciones que pueden causar impactos ambientales: cuatro en la fase de construcción, siete en la fase de explotación y seis en la fase de cierre y los 22 factores ambientales que pueden ser perturbados por las mismas.

Se identificaron y evaluaron 65 impactos ambientales producto del desarrollo del proyecto de explotación de plomo y zinc del yacimiento Castellano; de ellos 32 positivos y 33 negativos y clasificados de Muy Altos 8 y Altos 20.

Referencias bibliográficas

- ARCE, R. M. 1993: Metodología para la evaluación de impacto ambiental. Escuela de Organización Industrial, Madrid, España. Assessment: EIA Practice, Cap.
- CAÑETE, C.; KREBS, A.; MARMOZ, L.; PONCE, N.; MILIÁN, E. & BARRIOS, E. 2011: Riesgos ambientales provocados por el Pasivo Ambiental Minero Santa Lucía, Pinar del Río. En: IV Congreso Cubano de Minería Geociencias 2011, Cierres de Minas y Pasivos Ambientales Mineros. [CD ROM] ISBN 978-959-7117-30-8.
- CAÑETE, C.; KREBS, S.; MARMOS, L.; PONCE, N.; MILIÁN, E. & BARRIOS, E. 2008: Estudio de la degradación ambiental provocada por la minería en la región de Santa Lucía en el Occidente de Cuba. Informe del Proyecto de Colaboración Cuba-Brasil. Archivo Técnico Empresa Geominera Pinar del Río.

- CESIGMA, S. A. 2007: Estudio de Impacto Ambiental Proyecto de Explotación del yacimiento Oro Castellanos. Informe técnico. Archivos de Inversiones GAMMA, S.A. La Habana.
- CONESA, V. 2007: *Guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental*. 3 ed. Editorial Mundi-Prensa, Madrid.
- DELGADO, B.; LUBIAN, M.; CORTÉS, N. & MILIÁN, E. 2010: Proyecto ramal Identificación de Pasivos Ambientales Mineros, del Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM) y la Empresa Geominera de Pinar del Río, periodo 2009-2010. Archivo técnico del Centro de Investigaciones para la Industria Minero-Metalúrgica. La Habana.
- ESPINOZA, G. 2002: *Gestión y fundamentos de evaluación de impacto ambiental*. BID/CED.
- GÓMEZ-OREA, D. 2003: *Evaluación de Impacto Ambiental*. 2 ed. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, 760 p.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (ED.). 1999: *Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería* (Vol. 2). IGME, Madrid, 332 p.
- MILIÁN, E. 2006: *Metodología de evaluación de impacto ambiental en yacimientos piríticos polimetálicos de Pinar del Río*. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 100 p.
- PONCE, N.; ALFONSO, E. & CAÑETE, C. 1997: Evaluación y predicción de impactos ambientales en la minería. Informe de proyecto. En: Archivo Técnico Empresa Geominera de Pinar del Río. Ministerio de la Industria Básica, p. 35-40.