

## **Metodología para la ejecución de un cierre de minas sustentable**

Diosdanis Guerrero-Almeida  
Yanetsis Chacón-Pérez  
Doreyis Fonseca-Hernández  
Mario Court-Potrillé

### Resumen

A partir de un diagnóstico realizado en siete regiones mineras cubanas se diseñó una metodología con un enfoque sistémico e integral que permite ejecutar el cierre de minas de manera sustentable. La metodología representa una contribución a la planificación y diseño del cierre minero al garantizar la disminución de los impactos ambientales provocados por la explotación de los yacimientos minerales y brindar a la industria patrones de uniformidad en la planificación minera.

Palabras clave: cierre de minas; explotación de yacimientos; desarrollo sustentable; indicadores ambientales.

## **A methodology for sustainable closure of mines**

### Abstract

A methodology with a systemic approach was designed for closing mines in a sustainable manner based on a diagnosis carried out in seven mining regions in Cuba. This methodology contributes to planning and designing mine closure by ensuring the reduction of the environmental effect caused by ore mining activities and providing the mining industry with consistent patterns for mining planning.

Keywords: mine closure; ore exploitation; sustainable development; environmental indicators.

## 1. INTRODUCCIÓN

El deterioro ocasionado por la actividad minera ha sido la preocupación fundamental de políticos e investigadores de todo el mundo desde hace varias décadas. Anteriormente, las explotaciones mineras se realizaban sin restablecer o, al menos, estabilizar las condiciones físicas y geoquímicas de las áreas utilizadas, así como del desarrollo económico y social de estas zonas, las cuales, en la mayoría de los casos, eran abandonadas pues no existían normativas para la realización de estos cierres.

La aplicación a escala regional, nacional y local de instrumentos jurídicos y metodologías para cerrar las minas activas e inactivas, de modo sustentable, en la actualidad ha adquirido relevancia justamente porque reflejan en síntesis el conflicto entre la minería, la sociedad y el ambiente (Guerrero & Figueredo 2010). En Cuba se han dado pasos importantes en torno al cierre de minas, pues se han aprobado leyes y estatutos, tales como la Ley 76 de Minas (1995), que regulan la política minera y el proceso de rehabilitación de los llamados pasivos ambientales. Estas regulaciones expresan el interés del estado cubano por alcanzar la sustentabilidad en la actividad minera (Chacón 2012).

Algunos autores (Carvajal & González 2002; Guerrero 2005; Guerrero & Figueredo 2010; Montero & Salazar 2011; Villasbôas & Barreto 2000) entienden que la aplicación de dicho concepto en la minería no es un estado al que se pueda llegar, sino más 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 formar capital humano y social capaz de perdurar aún después del eventual agotamiento de los recursos (Guerrero & Figueredo 2010). Sin embargo, hasta la fecha no se cuenta con una metodología de cierre de minas, con carácter sistémico e integral, que sirva como guía a la hora de tomar decisiones futuras para el logro de la sustentabilidad.

A partir de este enfoque es reconocida la necesidad de tener una herramienta de trabajo útil para la toma de medidas relacionadas con el perfeccionamiento de las políticas ambientales y el desarrollo minero del país (Guerrero & Figueredo 2010; Montero & Salazar 2011).

El siguiente trabajo constituye un paso de avance en este sentido pues se logró diseñar, a partir del diagnóstico realizado en regiones mineras

cubanas, una metodología que permite ejecutar un cierre de minas de manera sustentable

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para diseñar la metodología que se propone fue preciso realizar un diagnóstico de los principales proyectos de cierre de minas que se han ejecutado en Cuba, para lo cual se aplicaron diversos métodos teóricos (análisis y síntesis, inducción y deducción, sistémico, hipotético-deductivo y dialéctico) y empíricos (observación, análisis de documentos, consulta de expertos y estudio de caso), teniendo en cuenta la necesidad de seguir la secuencia lógica que imponen los procesos de identificación, caracterización y valoración de los impactos ambientales ocasionados por el cierre (o abandono en la mayoría de los casos) de la explotación minera. De todos los métodos, el sistémico garantizó, en mayor grado, los requerimientos de la investigación realizada.

El análisis documental, estudios de caso y criterios de expertos se aplicaron para revisar la información disponible de cada mina, identificándose sus principales características y medidas técnicas aplicadas en los cierres ejecutados en todo el país después de 1997. De igual modo se consultaron los estudios de González-Jiménez et al. 2009; Labrador et al. 2006 y Lewis et al. 2006, así como otros relacionados con la caracterización geológica y minero ambiental del territorio, suministrados por la dirección de las respectivas empresas mineras objeto de estudio.

### 2. 1. Caracterización de los proyectos mineros seleccionados

Se seleccionaron y revisaron los datos y proyectos de 65 minas explotadas, tanto a cielo abierto como subterráneo. Para ello se agruparon en once zonas mineras (Aguas Claras, Levisa, Sagua de Tánamo, Moa, La Melba, La Gran Piedra, El Cristo, El Cobre, Charco Redondo, Jobabo y Santa Lucía), de las cuales el 43,07 % iniciaron sus labores desde la etapa colonial (Tabla 1).

A partir de esa base de datos, y tomando en cuenta el criterio de 155 expertos nacionales e internacionales consultados, se seleccionaron seis minas cerradas a partir de 1997, a las cuales se les realizó un análisis de las causas, consecuencias y deficiencias de sus proyectos de cierre, lo que condujo al diseño de la metodología propuesta. Estas minas son: Matahambre, Oro Castellano, El Cobre, Merceditas, Piloto y Martí (Figura 1).

Tabla 1. Zonas mineras y minas estudiadas (Guerrero &amp; Figueredo 2010)

No.	Zona minera	Provincia	Proyectos mineros	Período	
				Inicio	Cierre
1.	Aguas Claras	Holguín	Agrupadas, Aguas Claras, Marco Aurelio, Palo Quemado	1880-1888	1964-1968
2.	Levisa	Holguín	Martí, Piloto	1943-1980	2002-2008
3.	Sagua de Tánamo	Holguín	Albertina, Alfa, Bella Aurora, Carmen, Celia, Consuelo, El Tigre, Field, Guarina, Hatuey, Horda, José Manuel, La Caridad, La Discutida, La Isabela, La Reina, La Riqueña, La Tibera, La Victoria, Leopoldo	1900-1920	1955-1965
4.	Moa	Holguín	Pedro Sotto Alba, Ernesto Che Guevara	1958-1986	-
5.	La Melba	Holguín	Amores, Cayo Guam, Cromita, Delta I, Potosí, Los Naranjos, Las Merceditas	1930-1940	1978-2006
6.	La Gran Piedra	Santiago de Cuba	Antoñica, Casualidad, Concordia, Daiquirí, Georgina, La Firmeza, Mi Patria, Rosario, Sevilla, Sigua	1888-1915	1940-1950
7.	El Cristo	Santiago de Cuba	Balcanes, Barrancas, Boston, El Cristo, El Quinto, La Tordera, Los Chivos	1888-1940	1960-1967
8.	El Cobre	Santiago de Cuba	Mina Grande del Cobre	1513	2001
9.	Charco Redondo	Granma	Harlem	1944	1969
10.	Jobabo	Las Tunas	Antillas, Segunda, Arturo, Atlanta, Caobilla, Estrella Del N., Golden Hill, Hatuey, La Antigua Martha	1885-1898	1935-1940
11.	Santa Lucía	Pinar del Río	Matahambre, Oro Castellano	1910-1920	1995-2000



Figura 1. Ubicación geográfica de las minas estudiadas (Guerrero & Figueredo 2010).

#### Mina Matahambre

Ubicada en la provincia de Pinar del Río, constituyó uno de los yacimientos polimetálicos más importantes de Cuba. Está formado principalmente por rocas piríticas que albergan cuerpos en forma de vetas tubulares de la subformación inferior de la formación San Cayetano. Esta unidad, en la zona del depósito, convencionalmente ha sido subdividida, de abajo hacia arriba, en siete series bien diferenciadas.

En la mina Matahambre se tienen dos tipos de depósitos: filoniano y estratiforme polimetálico. Los cuerpos cupríferos constituyen grupos de filones que están localizados en cuatro zonas mineralizadas. Su apertura se hizo a través de un pozo vertical con el uso de jaula para el trasiego del mineral y el ascenso y descenso del personal, los materiales y equipos (Figura 2). Durante su tiempo de vida útil, en la mina se utilizaron diversos métodos de explotación subterráneos, caracterizados por el uso de la fortificación y relleno hidráulico, en profundidades superiores a los 1 500 m.



Figura 2. Vista del pozo principal de la mina Matahambre (Fonseca 2012).

En el año 1997 se aprobó el proyecto de cierre de la mina en correspondencia con la Ley de Minas, lo que se llevó a cabo en varias etapas durante dos años. Esta decisión fue motivada por problemas económicos y las difíciles condiciones para realizar los trabajos mineros. Se reubicaron las fuerzas laborales en otras dependencias de la minería, la geología y otros centros creados dentro de las instalaciones mineras.

Tras su cierre, se logró conservar algunos instrumentos y equipos vinculados a la explotación del yacimiento y la colección de fotografías antiguas de valor testimonial. Sin embargo, dejaron de ser prioridades el abasto de agua, el servicio eléctrico y el transporte, quedando abandonada la instalación, lo que condujo a que estos valores se dispersaron o desaparecieron del paisaje.

A pesar de haber sido declarada la mina patrimonio industrial, en el proyecto de cierre no se hace referencia a los procedimientos establecidos por la empresa minera para disminuir los costos para la rehabilitación, mantenimiento y monitoreo de las zonas sometidas a la minería, ni el mantenimiento y conservación de las instalaciones y equipamientos mineros.

#### Mina Oro Castellanos

El yacimiento Oro Castellanos inició su explotación en el año 1994, con una minería a cielo abierto. El mismo representa un filón en forma de rosario, situado al noroeste de Pinar del Río, a unos 12 km de la localidad de Minas de Matahambre. Geológicamente se vincula al campo mineral Santa Lucía-Castellanos y se emplaza en las rocas del miembro Castellanos, de la formación San Cayetano. Está constituido por alternancias entre esquistos arcillo-carbonosos, limolitas, limoareniscas y areniscas, predominando siempre las rocas de granulometría más fina; es un yacimiento pirito-polimetálico con oro en la zona de oxidación.

Desde su comienzo se previó la confección de un proyecto de cierre al concluir la minería, el que incluía la realización de auditorías para establecer medidas de mitigación del impacto ambiental, controlar las escombreras y el drenaje, utilizar menas de otros lugares, el posible traslado de la planta de procesamiento, eliminación de la erosión con descarga a las aguas receptoras y la lixiviación de metales de desechos, restablecer y reforestar las presas de colas, neutralizar y tratar las aguas y licores acumulados, residuos sólidos, y demás áreas de almacenes. En la región han quedado laboreos mineros, concentrados de minerales y colas de su tratamiento con diferentes niveles de incidencia en el medio ambiente (Figura 3), que necesitan ser estudiados en detalle para la

aplicación de medidas correctivas y de mitigación específicas para cada caso.



Figura 3. Contaminación ambiental del yacimiento Oro Castellanos (López et al. 2013).

Este proyecto de cierre, a pesar de tener establecido un programa integral de monitoreo y gestión ambiental, implementado en paralelo con la explotación de la mina para garantizar el cuidado del medio ambiente, consistió solamente en un pequeño plan de medidas, carente de detalles, donde no se establecen los procedimientos para lograr que su implantación tuviera un efecto positivo sobre el entorno. De igual modo, no tiene en cuenta el impacto que tendría el cierre de esta mina en la población, cuáles serían las soluciones para resolver el desempleo de las personas, el impacto en las comunidades, las medidas a adoptar para resolver el destino final de las instalaciones y equipamientos, y el tratamiento que se les daría a las áreas degradadas. Tampoco prevé cómo se realizaría la rehabilitación de estas ni de las presas de colas lixiviadas, el control del posible vertimiento de cianuro residual a causa de las lluvias, así como los procedimientos para neutralizar y tratar las aguas y licores acumulados y residuos sólidos en áreas de almacenaje.

#### Mina El cobre

El yacimiento El Cobre se encuentra ubicado al sur de la provincia de Santiago de Cuba, a 13 km de la ciudad del mismo nombre. Para su explotación y estudio se dividió en tres sectores: Mina Blanca, al oeste; Central (mina grande) al centro, y Gitanilla, al este. El yacimiento está formado por varios cuerpos lenticulares, cuyas potencias varían entre 6-10 m y una extensión por el rumbo de 350 m y por el buzamiento entre 210-245 m. Desde su apertura, en 1540, a través de un pozo vertical, se han utilizado los modos de explotación subterráneo y a cielo abierto. En el pasado siglo se explotaron los cuerpos a través del método de relleno del minado antiguo. A partir de 1967 y hasta 2006 se comenzó a explotar a través de una cantera de más de 820 m de

largo, 300 m de ancho y una profundidad de 190 m, la cual se encuentra inundada (Ramírez 2011), como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Vista superior de la cantera El Cobre.

En el 2001 se procedió al cierre total de la mina, impulsado principalmente por la caída brusca de los precios. Se caracterizó por la ausencia de una preparación documental y jurídica amplia que permitiera resolver al menos las principales preocupaciones. En este proyecto se consideró garantizar o mantener un nivel aceptable ocupacional de los mineros en otras actividades, de manera tal que minimizara el golpe psicológico, depresivo y económico ante la situación creada. La materialización de este proyecto de cierre resultó bastante engorrosa, pues la mina llevaba varias centurias en explotación y nunca ejecutó trabajos de cierre parcial o total ni de rehabilitación minera cuando correspondió. Por otra parte, no existían fondos financieros para ejecutar una rehabilitación aceptable en un área tan extensa y en un tiempo razonable.

Su ejecución originó desorientación en la población pues la mina constituía actividad económica fundamental del territorio, con una amplia cultura vinculada a la minería y no estaba preparada para el desarrollo de otras actividades que no se habían previsto. Además, no se garantizó con antelación un presupuesto para el cierre, ni se tuvo en cuenta el cierre progresivo, y las respectivas medidas para el logro de la estabilización física y geoquímica fueron insuficientes.

#### Mina Merceditas

Ubicada dentro de los límites del municipio de Moa, provincia de Holguín. En Punta Gorda, poblado más cercano, se encuentra la planta de beneficio que procesaba las menas del yacimiento. El yacimiento se encuentra dentro del Parque Nacional Alejandro de Humbolt, de alto interés de conservación florística y faunística. Las rocas que lo componen están completamente serpentinizadas, cuyos contenidos de espínela

cromíferas son de 80–95 %. Se explotó desde el año 1981 por el modo subterráneo (Figura 5).

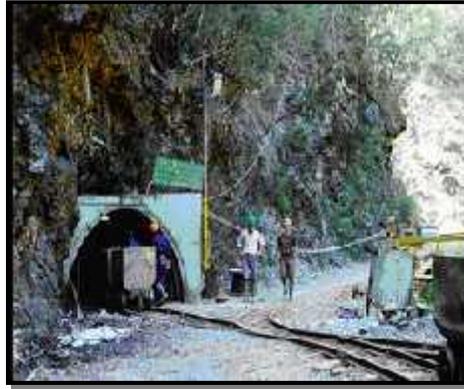


Figura 5. Vista de la entrada principal de la mina Merceditas (Guerrero & Figueredo 2010).

En el año 2006, la empresa dedicada a la exploración, explotación y beneficio del cromo, solicitó a la empresa de ingeniería y proyectos del níquel, un proyecto de cierre total y definitivo de las actividades mineras en este yacimiento. El cese de las actividades mineras estuvo dado por dificultades económicas y financieras de la empresa, lo que trajo como consecuencias la no reposición del equipamiento de exploración y explotación que se encontraba en mal estado técnico, el no contar con recursos minerales preparados con antelación y suficientes para la explotación (motivado por el atraso del desarrollo geológico y minero), incumplimiento en los últimos años del contrato de exportación de cromo, y la no adquisición de piezas de repuesto y accesorios para el equipamiento minero.

En este proyecto se declaró el estado inicial y actual de los recursos del yacimiento, se realizó una evaluación de estos, así como la información general de la actividad minera. Se realizó el diagnóstico ambiental de las diferentes componentes ambientales, identificándose los impactos según los elementos que forman el paisaje. Se trabajó en el plano topográfico general del yacimiento ubicando los lentes que afloran, el río, caminos mineros, escombrera, obras mineras subterráneas, los accidentes topográficos y zonas afectadas por la minería, así como una descripción detallada del interior de la mina.

Se establecieron, además, algunos procedimientos para la rehabilitación ecológica (describiendo la forma de realización del diseño y reconstrucción del relieve), rehabilitación biológica y mantenimiento y para el manejo de los impactos ocasionados a los caminos de acceso, su mantenimiento y conservación. De igual manera, se realizó un

levantamiento por todas las infraestructuras valorando el estado técnico y destino final de cada instalación y equipamiento y se calculó el estimado del costo capital para la rehabilitación y reparación de caminos de acceso, para el desmantelamiento. Finalmente se confeccionó un cronograma de ejecución de cierre de mina, acompañado de un plan de medidas para lograr un cierre sustentable a través de un programa de monitoreo ambiental.

#### Mina Piloto

Ubicada en el municipio de Levisa, provincia de Holguín. El yacimiento se explotó desde 1980, extrayéndose a cielo abierto el mineral laterítico, lo que provocó un gran impacto ambiental en la zona. Sus menas eran procesadas en la fábrica René Ramos Latour, de Nicaro. En mayo de 2008 se confeccionó su plan de cierre inicial para la exploración, donde se declararon los objetivos ambientales del cierre inicial, los objetivos del uso de la tierra una vez concluidas las actividades de exploración y, además, se establecieron los criterios del cierre, haciendo énfasis en la conservación de los recursos de suelo, vegetación e hidrológicos, así como con la protección de las áreas señaladas como patrimonios de biodiversidad, declarando los componentes residuales ambientales que perdurarán durante y después de terminada la exploración.

En el Proyecto se argumentaron las actividades contempladas en el cierre inicial, refiriendo los escenarios para los cierres progresivos, final y postcierre y caracterizando cada uno de ellos. Como actividades se contemplaron el desmantelamiento, demolición y salvamento, estabilización física y química, restauración ecológica, revegetación; se establecieron los procedimientos para la revegetación controlada de arbustos, la restauración de hábitats acuáticos, los programas socio-ambientales dirigidos tanto a los trabajadores permanentes de la concesión como a los implicados en la exploración.

Se tuvo en cuenta también medidas para disminuir el impacto de los componentes residuales que fueron consecuencia de la construcción de caminos, trochas y plataformas de exploración y, a la vez, provocaron las afectaciones a la vegetación y a la fauna, al suelo y a las aguas; se planificó el monitoreo del cierre, declarándose los tipos de monitoreo a realizar y tiempo de duración; se propuso un cronograma de ejecución y presupuesto para el cierre. Sin embargo, su ejecución y monitoreo resulta insuficiente pues los trabajos de exploración realizados en 1980 aún causan un gran impacto ambiental (Figura 6).



Figura 6. Vista de las afectaciones al suelo en el yacimiento Piloto (Fonseca 2012).

#### Mina Martí

Se ubica en el municipio de Levisa, provincia de Holguín, el yacimiento se exploró desde 1943, a cielo abierto, extrayendo mineral laterítico que era enviado a la fábrica René Ramos Latour, de Nicaro. En el año 2002 se confeccionó su proyecto de cierre, dado por dificultades con el suministro de mineral a la planta metalúrgica, pues el yacimiento se encontraba en fase de agotamiento, quedándole reservas dispersas en los diferentes cuerpos minerales en pocas cantidades y con baja calidad; además, la distancia de transportación era muy grande y la topografía compleja, por lo que se hacía necesario utilizar nuevos sistemas de transportación aumentando los costos de extracción. A esto se incorporó el mal estado de las vías férreas, del material rodante y de los talleres de mantenimiento; la existencia de un balance negativo entre la actividad de destape de reservas con respecto a la extracción de mineral; el déficit de piezas y partes de repuesto y el bajo rendimiento operativo del parque existente.

En este proyecto de cierre se establecieron consideraciones referentes al posible de uso de las maquinarias, de las fundiciones de concreto, la recuperación de los depósitos de residuos para asegurar la estabilidad a largo plazo, el control de la erosión y la calidad de las aguas. Se realizó una evaluación de los recursos del yacimiento, pasando a ser recursos abandonados por no poseer las condiciones minero-técnicas para ser asimilados en la industria, y también un diagnóstico de cada una de las componentes ambientales por cada grupo del yacimiento Nicaro, para su mitigación durante el cierre. Los trabajos para el logro de la estabilización física, química y biológica incluyeron la descripción de todas las

superficies afectadas por la minería: vías de acceso, escombreras y zonas minadas y las propuestas de los posibles usos de estas áreas.

El proyecto incluyó, además, los procedimientos para la restauración ecológica de la mina, el diseño y reconstrucción del relieve, la rehabilitación biológica, el manejo de los impactos específicos con una descripción de las normas a emplear en la restauración de caminos de acceso, apertura, reapertura y mantenimiento de estos. Se realizó también un levantamiento de todas las infraestructuras por un grupo multidisciplinario que valoró el estado técnico y posible uso de cada instalación y equipamiento, y se estimó el costo capital con base en el compendio de cada uno de los estimados individuales de las diferentes áreas para la realización del desmantelamiento, demolición, salvamento y disposición. Para ejecutar el cierre se confeccionó un presupuesto de gastos, con el cronograma de ejecución de las actividades de cierre y se presentó un plan de medidas, donde se incluyó el control y monitoreo ambiental de las componentes ambientales, la actualización anual del cierre y se propuso una estructura organizacional que facilitó su ejecución

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Valoración de los proyectos de cierre seleccionados

Los proyectos de cierre revelaron dificultades en su ejecución, bien sea por desconocimiento de las leyes y normativos vigentes y referentes al tema, o por falta de presupuesto. Se aprecia, además, que existe una gran diversidad de los tipos de cierre mineros que dificulta su monitoreo. De los seis casos estudiados: 33,33 % se encuentran en la etapa de cierre temporal; 16,66 % cierre inicial; 16,66 % cierre final; y el 16,66 % en etapa de postcierre (Figura 7).

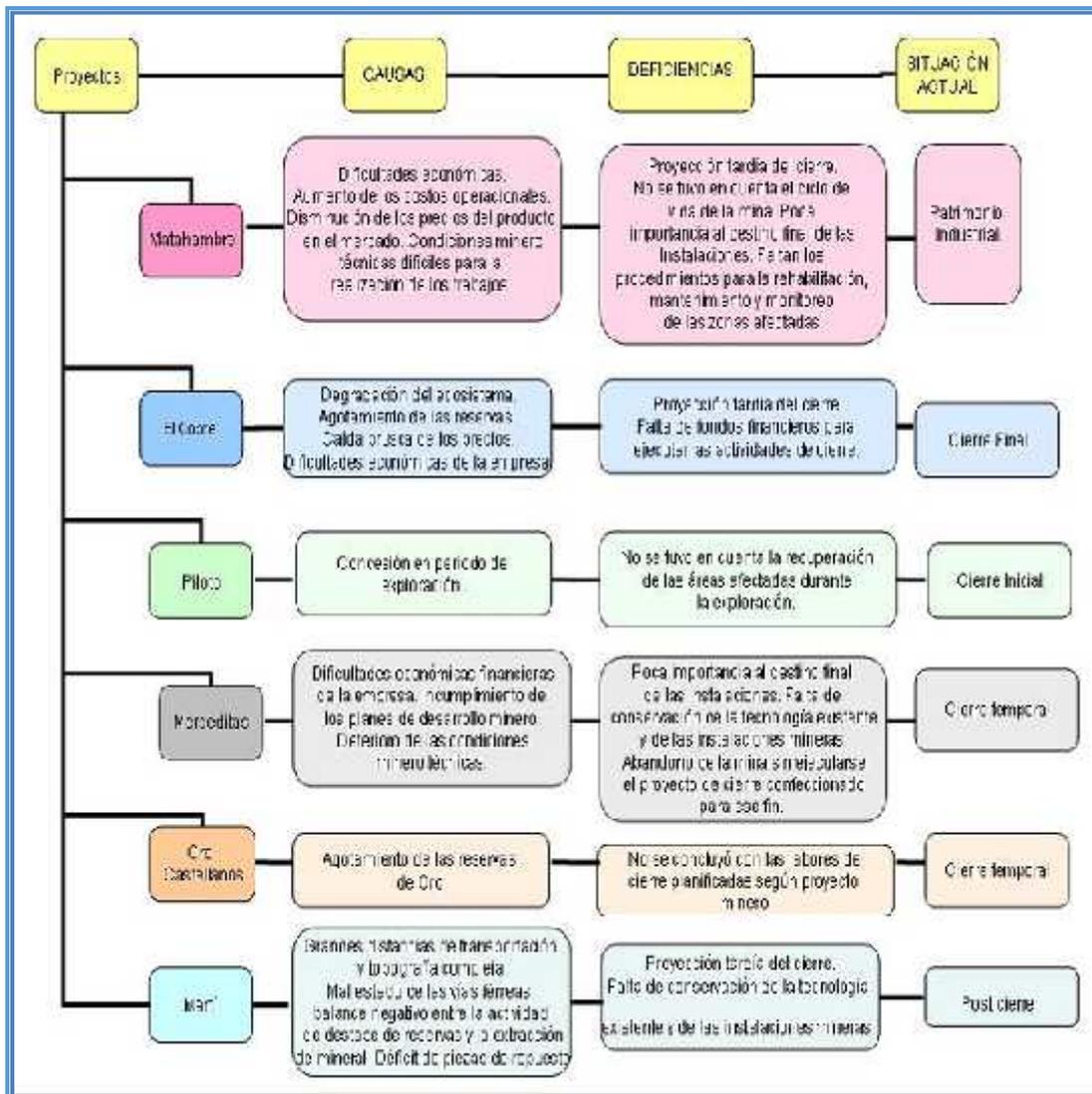


Figura 7. Valoración de los proyectos de cierre de minas estudiados (Fonseca 2011).

### 3. 2. Propuesta metodológica para la ejecución de un cierre de minas sustentable

La metodología diseñada para la ejecución de un cierre de minas sustentable cuenta con seis etapas principales (Figura 8):

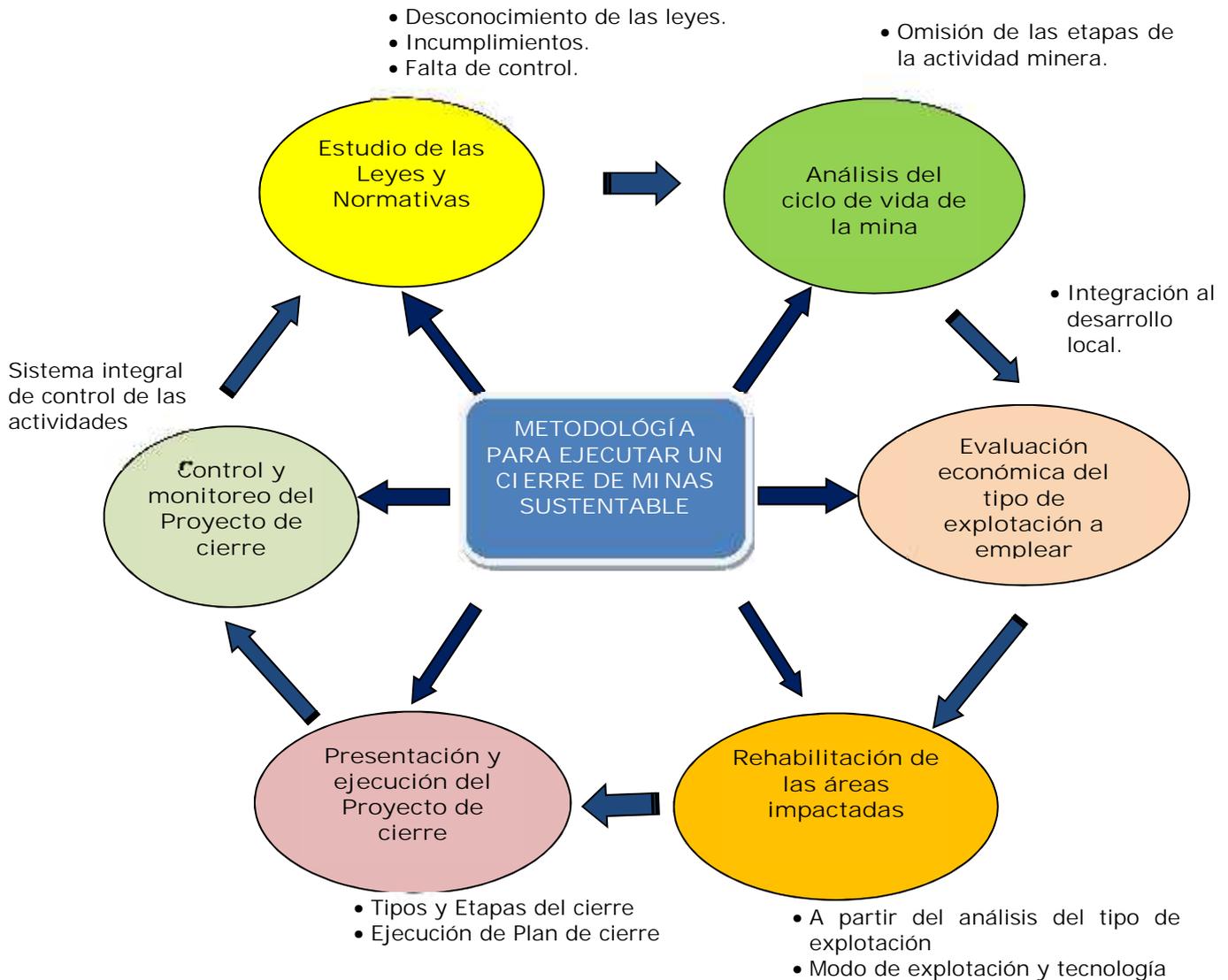


Figura 8. Metodología para la ejecución de un cierre de minas sustentable.

### 1. Estudio de leyes y normativas vigentes

El estudio de las leyes y normativas permite un mejor conocimiento de los derechos y deberes de los concesionarios al comenzar un proyecto minero, por lo cual en esta etapa se tendrá en cuenta que estos las conozcan y cumplan, sobre todo aquellas que respaldan la ejecución y compromisos ambientales de los inversionistas de los proyectos mineros, al explotar el yacimiento.

### 2. Análisis del ciclo de vida de la mina

El análisis del ciclo de vida de la mina se utiliza como herramienta que integra todos los componentes a considerar en su diseño y planeación, con el objetivo de disminuir los costos de protección ambiental y enfatizar la influencia que estos ejercen sobre todos los procesos asociados a

cualquier actividad industrial, con lo cual se puede evaluar las decisiones de planeación durante la vida operativa de la mina. En este paso se realizará la evaluación económica detallada en cada etapa del ciclo de vida de la mina, y el tipo de cierre a ejecutar, desde las fases de estudio y evaluación ambiental, exploración, explotación y diseño, construcción, operación, cierre final y postcierre.

### 3. Evaluación económica del tipo de explotación a emplear

Constituye una de las etapas más difíciles para el logro de un cierre de minas sustentable, pues generalmente la selección de los modos de explotación se realiza tomando en consideración aspectos como el precio del metal en el mercado internacional, costo de producción y de apertura, así como las pérdidas (ecuación 1). Es decir, solamente se evalúan criterios económicos para seleccionar un sistema que afecta no solo a la naturaleza, sino también a la sociedad (Martínez 2012).

$$e = (p_m - c_p - p) / c_a \quad (1)$$

Donde:  $e$ - coeficiente de extracción; %

$p_m$ - precio de mercado; \$

$c_p$ - costo de producción; \$/ton

$p$ - pérdidas; % o ton

$c_a$ - costo de apertura; \$/ton

Para lograr un cierre sustentable de la mina, integrado al desarrollo local, se sugiere en esta etapa incorporar a la fórmula anterior, y desde los inicios del proyecto, el costo real en recursos y tiempos necesarios para rehabilitar las zonas afectadas por la minería (ecuación 2), ya sea de forma natural o antrópica (Guerrero & Figueredo 2010).

$$e = [(p_m - c_p - p) / c_a] * c_r * t_r \quad (2)$$

Donde:  $e$ - coeficiente de extracción; %

$p_m$ - precio de mercado; \$

$c_p$ - costo de producción; \$/ton

$p$ - pérdidas; % o ton

$c_a$ - costo de apertura; \$/ton

$c_r$ - costo de rehabilitación; \$/ha

$t_r$ - tiempo necesario para rehabilitar; días, meses, años.

#### 4. Rehabilitación de las áreas impactadas

El diagnóstico de los proyectos de cierre demostró que no existe una herramienta común para rehabilitar las áreas afectadas por la minería y, por tanto, no se puede aplicar un cierre sustentable, pues no se consideran los pasivos ambientales no explotables en el futuro ni la evaluación de las zonas con un volumen de reservas importantes que reiniciarán su explotación. En esta etapa se debe diseñar un procedimiento para disminuir los costos de esta labor, desde las etapas iniciales del proyecto, y que tenga en cuenta el modo de explotación, la caracterización de las áreas afectadas por la actividad minera; selección de alternativas de recuperación; elaboración del plan de recuperación; su aprobación por las entidades rectoras; desarrollo, monitoreo y seguimiento de la recuperación, hasta lograr el cierre total de la mina (Milián 2012).

#### 5. Presentación y ejecución del proyecto de cierre de minas sustentable

Es la etapa donde se determinan las condiciones actuales del área del proyecto (ambiente físico, biológico y socio-cultural), se realizan los procesos de consulta con los organismos competentes y se ejecutan las actividades de cierre. En ella se realiza el control del cumplimiento de todas las medidas correctivas ejecutadas durante el cierre final, se toman las medidas necesarias en caso de no lograr los objetivos planificados. Para esto se realiza la evaluación detallada de la información disponible, para definir si esta es suficiente como para hacer un análisis completo de todos los procesos operativos involucrados en la producción; y se definen los compromisos que asumirá la empresa inversionista, para destinar los fondos que permitan costear las actividades de cierre que se desarrollarán durante la vida operacional de la mina.

#### 6. Control y monitoreo del proyecto cierre de minas sustentable

En esta etapa se identifican los indicadores claves para la realización del monitoreo, los cuales están relacionados con la realización del monitoreo físico de las actividades declaradas durante la ejecución de los planes previstos; así como la evaluación por parte de la autoridad ambiental del desempeño de la empresa y el cumplimiento de los compromisos previamente pactados.

El monitoreo debe comenzar desde la etapa de exploración, prolongarse durante la construcción y operación de la mina y continuar como mínimo cinco años, después del cierre y recuperación de la mina. Este abarca una

variedad de objetivos a largo plazo y define las condiciones exigidas por las autoridades, las comunidades y otras organizaciones de interés, para determinar si el desempeño ambiental de la empresa es satisfactorio. El programa de monitoreo debe formar parte del sistema de gestión ambiental de la empresa con lo cual se debe lograr la real integración del proyecto minero al desarrollo sustentable de la región.

#### 4. CONCLUSIONES

El estudio y caracterización de los proyectos mineros analizados revela las dificultades presentadas con su ejecución, ya sea, por la falta de conocimientos referentes al tema, o por la ausencia de regulaciones que declaren detalladamente cómo proceder en cada caso.

El diagnóstico permitió diseñar una metodología para garantizar la ejecución de un cierre de minas sustentable, que garantiza disminuir los impactos ambientales provocados por la explotación de los yacimientos minerales cubanos, brindar a la industria patrones para alcanzar uniformidad en la planificación y que estos se realicen con menos costos

#### 5. REFERENCIAS

- CARVAJAL, D. & GONZÁLEZ, A. 2002: La ordenación del territorio en comunidades mineras. En: VILLAS BOAS, R. & PAGE, R. La minería en el contexto de la ordenación del territorio. Cnpq/Cytel, Río de Janeiro, 368-375.
- CUBA. 1995: Ley 76. Ley de Minas. Gaceta Oficial de la República de Cuba. Volumen 3: 15-16.
- CHACÓN, Y. 2012: Criterios para la ejecución del cierre de minas en el yacimiento Yagrumaje Sur. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 92 p.
- FONSECA, D. 2012: Metodología para la ejecución del cierre de minas de manera sostenible en la minería metálica cubana. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 99 p.
- GONZÁLEZ-JIMÉNEZ, J. M.; PROENZA, J. A.; GERVILLA, F.; BLANCO-MORENO, J. A. & RUÍZ-SÁNCHEZ, R. 2009: Small-Scale Mobility Of Platinum-Group Elements During Serpentinization: Evidence From The Distribution Of Platinum-Group Minerals In Chromitites From The Sagua De Tánamo District (Mayarí-Baracoa Ophiolite Belt, Eastern Cuba). In: BORG, G. & WILLIAMS, P. (Eds.) Smart Sciences For Exploration And Mining. Proceedings of 10<sup>th</sup> Biennial Sga Meeting. Townsville, Australia, p. 312–319.
- GUERRERO, D. & FIGUEREDO, O. 2010: Impacto ambiental del método de explotación por cámaras y pilares, aplicado en el yacimiento Las Merceditas de Cuba. En: 1<sup>ra</sup> Jornada Iberoamericana de la Red

- Masys. Edit. Ministerio de Industria, Comercio y Trabajo de Córdoba, Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Cyted. Memorias. Ayacucho, Perú, 83-98.
- GUERRERO, D. 2005: Sistema de indicadores mineros para la explotación sostenible de los recursos minerales. *Minería & Geología* 21(2): 55.
- LABRADOR, M.; PROENZA, J. A.; GALÍ, S.; MELGAREJO, J. C.; TAULER, E.; ROJAS-PURÓN, A.; MUÑOZ-GÓMEZ, N. & RODRÍGUEZ-VEGA, A. 2006: Minerales de Mn-Co-Ni en las lateritas de Cuba Oriental: resultados preliminares. *Macla* 6: 281-284.
- LEWIS, J. F.; DRAPER, G.; PROENZA, J. A.; ESPAILLAT, J. & JIMÉNEZ, J. 2006: Ophiolite-Related Ultramafic Rocks (Serpentinites) In The Caribbean Region: A Review Of Their Occurrence, Composition, Origin, Emplacement And Nickel Laterite Soils. *Geol. Acta.* 4: 237–263.
- LÓPEZ, KRAMER J.; GANDARILLAS, J.; ACEVEDO, E. & MOREIRA, J. 2007: Mineralogía y geoquímica: su efecto en los problemas ambientales, procesos tecnológicos, la minería y desechos urbanos. *Ciencias de la Tierra y el Espacio* 7.
- MARTÍNEZ-SILVA, R. 2012: Explotación minera. Conferencia. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 89 p.
- MILIAN, M. E. 2012: Procedimiento para la rehabilitación minero-ambiental de yacimientos piríticos polimetálicos cubanos. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 100 p.
- MONTERO, J. M. & SALAZAR, Y. 2011: La re inserción laboral tras el cierre de minas: una vía para lograr el desarrollo sustentable en la minería. *Minería & Geología* 27(4): 64-87.
- RAMÍREZ, B. 2011: Remoción por flotación iónica de iones cobre con amilxantato de potasio. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- VILLASBÔAS, R. & BARRETO, M. L. 2000: Cierre de minas: experiencias en Iberoamérica. Cyted/Maac/Unido, Río de Janeiro, 581 p.

**Diosdanis Guerrero Almeida** [dguerrero@ismm.edu.cu](mailto:dguerrero@ismm.edu.cu)

Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular. Departamento de Minas. Facultad de Geología y Minería.  
Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín, Cuba.

**Yanetsis Chacón Pérez** [yhcperez@ismm.edu.cu](mailto:yhcperez@ismm.edu.cu)

Ingeniera de minas. Departamento de Minas. Facultad de Geología y Minería.  
Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín, Cuba.

**Doreyis Fonseca Hernández** [dfonseca@ismm.edu.cu](mailto:dfonseca@ismm.edu.cu)

Ingeniera de minas. Departamento de Minas. Facultad de Geología y Minería.  
Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín, Cuba.

**Mario Court Potriyé** [mcpotriye@ismm.edu.cu](mailto:mcpotriye@ismm.edu.cu)

Ingeniero de minas. Departamento de Minas. Facultad de Geología y Minería.  
Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín, Cuba.