

## **PROCEDIMIENTO PARA LA GESTIÓN ECONÓMICA Y SOCIO-AMBIENTAL EN LA REHABILITACIÓN MINERA**

Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en  
Desarrollo Sustentable en la actividad minera.

Autor: Lic. Yordanis Torres Batista

Tutores: Prof. Tit.; Ing. Roberto Guillermo Rodríguez Córdova Dr. C

Prof. Aux.; Lic. Clara Luz Reynaldo Argüelles Dra. C

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco primeramente a Dios porque sin su bendición y resguardo no hubiera sido posible concluir la investigación.

A mi madre, esposa, sobrinos y mis nuevos padres Roberto Guillermo Rodríguez Córdova y Onagra Tamargo Arenado que son el tesoro más grande que puede tener una persona.

A mi tutora Dra. C Clara Luz Reynaldo Argüelles, por el tiempo, el conocimiento y el cariño que dedicó a la confección coherente y científica de esta tesis.

A mi tutor Dr. C Roberto Guillermo Rodríguez Córdova, por el tiempo, el conocimiento y el cariño que dedicó a la confección coherente y científica de esta tesis.

A mi hermana Yarina Torres Batista por haberme dado la alegría de mis sobrinos y por permitirme contar con ella en cualquier momento.

A mis tías: Ana Rosa Batista Cuenca y Digna Rosa Batista Cuenca por ayudarme en todo y estar presente en mi vida.

A mi padre: Ángel Columbié Mont ya que siempre confió en mí y estuvo apoyándome en todo momento.

A mis suegros adorados: Moraima Cabrera Aldana y Elvis Rodríguez Cuza por apoyarme siempre y creer en mí.

A mi cuñado: Edgar Rodríguez Cabrera por tenerme como un hermano.

A mi nueva abuela Irma Aldana Gómez por haberme acogido en su familia con tanto amor y confiar en mí.

A mis nuevos tíos Maricelis Cabrera Aldana, Maritza Cabrera Aldana, Jesús Ramón Cabrera Aldana, Carlos Cabrera Aldana, Amado Cabrera Aldana, Daniel Guzmán del Río por acogerme en su preciosa familia.

A la Lic. Cecilia Pérez Roque por la ayuda incondicional en la revisión y corrección de la tesis.

A la Dra. C Norma Sánchez Paz por su apoyo y su amistad sincera y profunda.

A todos los trabajadores de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara que con su experiencia, sacrificio y conocimientos facilitaron la información para la tesis.

A los 50 especialistas seleccionados que formaron parte de la muestra o población para el trabajo del método DELPHI y en especial a los 24 expertos que contribuyeron con sus conocimientos a la confección y aprobación del procedimiento propuesto.

Agradezco a todas las personas que de una forma directa o indirecta han compartido conmigo y me ayudaron a formarme como profesional y tener una vida mejor.

## **DEDICATORIA**

Esta tesis en opción al grado científico de Master en Desarrollo Sustentable es el esfuerzo y apoyo de todos los que me aman y confiaron en mí por lo que se la dedico:

A Dios por guardarme, amarme, guiarme y nunca desampararme.

A mi madre amada Melba Rosa Batista Cuenca y mi esposa venerada Mariolis Rodríguez Cabrera por dedicarse, atenderme a tiempo completo y ayudarme siempre en los momentos de alegría, pero principalmente en los más difíciles.

A mis sobrinos queridos Adriano Alejandro Fonseca Torres y Maikol Alejandro Ramírez Torres por darme la alegría más grande que uno pueda esperar.

A mis nuevos padres querido Roberto Guillermo Rodríguez Córdova y Onagra Tamargo Arenado por haberme acogido en el seno de su familia como un miembro más de ellos, por su amor incondicional y su ayuda permanente ya que sin ellos no hubiera sido posible haber logrado este éxito.

## **SÍNTESIS**

La existencia y explotación de los yacimientos minerales contribuye con el desarrollo económico de las naciones que cuentan con estos recursos. Sin embargo, su procesamiento provoca severas afectaciones a los ecosistemas donde se localizan, se hace imprescindible lograr mayor eficiencia en el proceso de rehabilitación minera para la recuperación de los mismos.

El éxito de este propósito demanda alcanzar estadios superiores en la rehabilitación minera que permitan la consecución integrada de la gestión en las dimensiones económica, social y ambiental; para ello se propone el tema investigativo Procedimiento de Gestión económica y socio-ambiental en la rehabilitación minera, el cual aborda fundamentos teóricos importantes sobre el diseño del mismo, en aras de alcanzar un equilibrio entre el desarrollo económico derivado de la explotación de los yacimientos lateríticos y la necesaria preservación de los ecosistemas afectados.

El procedimiento propuesto permite la caracterización de la línea base, la identificación de los impactos ambientales, la valoración económica de los bienes y servicios ecosistémicos, la planificación económica, la propuesta del plan de rehabilitación minera y la evaluación del desempeño, mediante indicadores económicos, sociales y ambientales, diseñados por primera vez, en el proceso de rehabilitación minera y avalados por criterios de especialistas de reconocido prestigio.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I FUNDAMENTOS TEÓRICOS EN LA GESTIÓN ECONÓMICA Y SOCIO-AMBIENTAL EN LA REHABILITACIÓN MINERA.....	10
Introducción.....	10
1.1 Fundamentos teóricos sobre la economía y los recursos naturales .....	11
1.2 Definición y caracterización del ecosistema en los yacimientos lateríticos ..	17
1.2.1 La explotación de los yacimientos minerales y su incidencia en el ecosistema.....	19
1.3 La valoración económica de bienes y servicios ecosistémicos como expresión de la gestión económica y socio-ambiental.....	20
1.4 Diagnóstico sobre las afectaciones que se producen al medio físico, la biota y el medio socioeconómico en el área minada.....	27
1.5 La rehabilitación minera en el desarrollo sostenible .....	30
1.5.1 La rehabilitación minera en los yacimientos lateríticos en Cuba.....	33
1.6 La gestión en el proceso de rehabilitación minera .....	37
Conclusiones parciales .....	39
CAPÍTULO II PROCEDIMIENTO PARA LA GESTIÓN ECONÓMICA Y SOCIO-AMBIENTAL EN LA REHABILITACIÓN MINERA .....	41
Introducción.....	41
2.1 Nociones teóricas del procedimiento de gestión económica y socio-ambiental en la rehabilitación minera .....	41
2.2 Análisis de las distintas etapas y pasos .....	43

2.2.1	Etapa I: Preparación inicial .....	43
2.2.2	Etapa II: Caracterización de la línea base del ecosistema objeto de estudio .....	44
2.2.3	Etapa III: Identificación de los impactos ambientales del ecosistema afectado .....	52
2.2.4	Etapa IV: Valoración económica de los bienes y servicios ecosistémicos afectados .....	56
2.2.5	Etapa V: Planificación económica de la rehabilitación minera .....	57
2.2.6	Etapa VI: Propuesta del plan de la rehabilitación del área minada .....	67
2.2.7	Etapa VII: Evaluación del desempeño de la rehabilitación minera.....	73
2.2.8	Etapa VIII: Elaboración del plan de mejora en correspondencia con los resultados .....	74
2.3	Validación del procedimiento.....	75
	Conclusiones parciales .....	80
	CONCLUSIONES.....	81
	RECOMENDACIONES .....	82
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	83
	ANEXOS.....	I

## INTRODUCCIÓN

Los recursos minerales constituyen una fuente importante de materia prima para el desarrollo económico de las naciones. El valor económico de los yacimientos minerales permite que los indicadores de la macroeconomía (PIB) posicionen a las naciones en lugares privilegiados del mercado internacional. Sin embargo, su explotación provoca severas afectaciones a los ecosistemas donde se localizan; se hace imprescindible lograr mayor eficiencia en el proceso de rehabilitación minera que permita la recuperación de los mismos, pues se caracterizan generalmente por la riqueza de los elementos que los conforman y, para favorecer la consecución de su desarrollo sostenible, la investigación que se realiza contempla las tres dimensiones (económica, ambiental y social).

Se debe tener en cuenta que la explotación minera puede clasificarse en dos grandes grupos: la subterránea, que se elige, en función de la morfología del cuerpo (regular-irregular) y las características geotécnicas del macizo de roca, este tipo de minería cuenta con sistemas de ventilación y drenaje de aguas subterráneas que permiten el desarrollo seguro de las operaciones; y a cielo abierto, que se caracteriza por la remoción de la capa vegetal, extracción de los niveles meteorizados o estériles y la extracción de los minerales o rocas aprovechables. (Oyarzun Muñoz, 2011)

En Cuba predomina la explotación a cielo abierto de toba, zeolita, arcilla, plomo, zinc y caliza, utilizadas en la industria de materiales de la construcción; se explotan además las salinas y los yacimientos lateríticos (níquel, hierro, cobalto, sílice, magnesio y manganeso), estos últimos, objeto de estudio de la investigación. Las producciones principales de los lateríticos son el sínter de níquel, el sulfuro mixto de níquel más cobalto y el óxido de níquel.

El Estado cubano, desde el triunfo de la Revolución ha trazado diferentes políticas de desarrollo, que han tenido como prioridad la protección del medio ambiente, reflejada en:

- *La Constitución de la República de Cuba*, aprobada el 26 de febrero de 1976, en el capítulo I Fundamentos económicos, políticos y sociales del Estado, en su artículo

27 expone la obligación del Estado con la protección del medio ambiente.

- La Ley No. 76/1995 de Minas plantea en su artículo 41 que los concesionarios están obligados a preservar adecuadamente el medio ambiente y las condiciones ecológicas del área, elaborando estudios y planes para prevenir, mitigar, controlar, rehabilitar y compensar el impacto derivado de la actividad minera, tanto en esta área como en las áreas y ecosistemas vinculados a aquellos que puedan ser afectados.
- La Ley No. 81/1997 del Medio Ambiente, establece la obligación de minimizar o mitigar los efectos negativos al medio ambiente, amparado en el artículo 58, 85, desde el 120 hasta 124 del capítulo VIII relacionado con la investigación científica e innovación tecnológica, la protección las especies de carácter endémico afectada por la minería y el resarcimiento de los daños ambientales.
- La Ley 85/1998 Ley Forestal en su artículo 35 inciso (a) plantea que la forestación o reforestación será de carácter obligatorio en los terrenos donde se haya realizado extracción de minerales a cielo abierto.
- La Estrategia Ambiental Nacional, Provincial y Municipal elaborada para el quinquenio 2016-2021 es el documento rector de la dimensión ambiental, donde se recogen las principales problemáticas relacionadas con el medio ambiente y los objetivos para revertir la situación.
- Los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el período 2016-2021 aprobados en el VII Congreso del Partido Comunista de Cuba, celebrado del 16 al 19 de abril de 2016 en su acápite VII de la Política Agroindustrial, expone en el No. 158: “Sostener y desarrollar investigaciones integrales para proteger, conservar y rehabilitar el medio ambiente, evaluar impactos económicos y sociales de eventos extremos, y adecuar la política ambiental a las proyecciones del entorno económico y social”.
- El Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el año 2030, incorpora en los objetivos 179,180 y 181, del Eje estratégico: Recursos naturales y medioambientales que tiene como objetivo lograr estabilidad con el medio

ambiente mediante el mejoramiento, protección, prevención y control del mismo.

En correspondencia con la normativa jurídica cubana, las empresas mineras tienen dentro de sus prioridades la protección del medio ambiente. En este sentido y para la elaboración y aprobación del plan de rehabilitación se rigen por el Manual de Procedimiento Minero de la Oficina Nacional de Recursos Minerales, el cual establece con un enfoque limitado, el contenido de un proyecto minero, a cielo abierto y subterráneo. Establece además que el Plan de Rehabilitación deberá contemplar la necesaria identificación de los impactos ambientales y las medidas mitigadoras o correctoras, el plan de rehabilitación del medio ambiente alterado, el plan de seguimiento y control, y el presupuesto para el medio ambiente.

La explotación a cielo abierto de los yacimientos lateríticos en la provincia de Holguín, Cuba, se realiza de manera ininterrumpida; las operaciones efectuadas tienen lugar en el macizo montañoso Moa-Baracoa a 177 km de la ciudad de Holguín. Este proceso tiene como propósito la producción de níquel y cobalto, y otros productos afines con su correspondiente comercialización; se caracteriza por afectar el medio físico, la biota y el medio socioeconómico del ecosistema donde se encuentra ubicado (el suelo, la flora, fauna, el paisaje, el régimen hídrico y la salud humana).

Según el artículo 12 de la Ley No. 76/1995 de Minas la actividad minera se divide en las siguientes fases: reconocimiento, investigación geológica, explotación, procesamiento y comercialización, las cuales deben ser organizadas debidamente, si no, pueden causar afectaciones importantes fuera del área de explotación.

El proyecto de explotación minera de la Empresa Niquelífera Comandante Ernesto Che Guevara, en su diseño y desarrollo no integra las dimensiones económicas, sociales y ambientales durante las fases del proceso minero.

Desde el punto de vista económico, no se ha logrado la planificación adecuada de las áreas a rehabilitar, como se trata del pago de un servicio a terceros, ha primado el sentido apreciativo y estimado de la cantidad de terreno y vegetación a utilizar. En el orden social, no se ha concebido el uso futuro de los terrenos con un impacto positivo en la sociedad, pues estos escenarios pueden constituir fuentes de empleo y

la base para el desarrollo de otras actividades económicas. En la dimensión ambiental, la rehabilitación no ha sido concebida con una intención de restaurar el ecosistema afectado. (Análisis basado en el Proyecto 1772 de Explotación del Yacimiento de Camarioca Este, 2011)

Esto trae consigo espacios minados, carentes de una rehabilitación integradora al no existir un enfoque sistémico que permita la aplicación de la gestión económica y socio-ambiental para el desarrollo sostenible del ecosistema afectado.

En relación con el objeto de investigación a continuación se exponen algunas definiciones teóricas de la rehabilitación minera, pues no se aprecia en los conceptos estudiados la necesaria precisión entre términos afines como restauración, rehabilitación y recuperación del medio ambiente, imprescindibles para el tema analizado.

Serrada Hierro (2000), plantea que la rehabilitación es el procedimiento utilizado para subsanar los efectos de la explotación minera. Sus objetivos a largo plazo pueden variar y abarcar desde la simple transformación de la zona para lograr un lugar estable y seguro, hasta el restablecimiento de la condición original, lo más semejante a la situación previa a la explotación minera, con todos los valores ambientales intactos.

Marín Marín (2012) señala que la rehabilitación no busca llegar al estado original, se enfoca en el restablecimiento parcial de elementos estructurales o funcionales del ecosistema deteriorado, así como de la productividad y los servicios ambientales que provee el ecosistema, a través de la aplicación de técnicas.

Matos (2004) citado por Batista Martínez (2016) plantea que la rehabilitación es hacer que un ecosistema degradado vuelva a un estado no degradado aunque sea diferente al original, aunque esta técnica admite la utilización de especies diferentes a las nativas, es necesario restablecer un ecosistema que contenga la biodiversidad suficiente para continuar su maduración mediante procesos naturales.

La rehabilitación minera es uno de los mecanismos implementados para equilibrar la degradación en las áreas minadas, y en varios países como España, Perú, Australia

y Colombia son descritos como importantes instrumentos en las políticas públicas (Torres Batista, Rodríguez Córdova, & Reynaldo Argüelles, 2018). Se le denomina de varias formas: restauración, rehabilitación y recuperación, aunque tienen el mismo objeto en común: asegurar la corrección de los impactos ambientales negativos y de grandes incidencias, lo que propicia un uso final a los terrenos rehabilitados, según las necesidades sociales y económicas de cada región.

En las definiciones anteriores se evidencia que la rehabilitación minera está constituida por técnicas o procedimientos encaminados a intentar revertir un ecosistema degradado por cualquier actividad económica, en no degradado. Desde esa perspectiva no se consideran los componentes del ecosistema antes de su explotación. Las acciones van dirigidas sólo a rehabilitar el medio ambiente sin relacionar la necesaria integración de las diferentes dimensiones en el proceso de rehabilitación.

De ahí, la importancia de proyectar el trabajo de la rehabilitación minera con un enfoque que permita la consecución del desarrollo sostenible del ecosistema afectado por la incidencia que tiene en las dimensiones ambiental, económica y social.

En Cuba se han realizado estudios sobre el tema: Reforestación para la rehabilitación de terrenos degradados por la industria minera a cielo abierto en la región Nicaro – Mayarí, Holguín, Cuba (Herrero Echevarría, Bruzón Sánchez, Batista Martínez, & Herrera Oliver, 2009); Principales problemas que confronta el proceso de rehabilitación de áreas impactadas por la minería del níquel en Cuba (García et al., 2011); Algunas consideraciones de rehabilitación minera en la minería del níquel: municipio de Moa, Cuba (Chaviano Beitra, Cervantes Guerra, & Pierra Conde, 2011) y Rehabilitación de áreas devastadas por la minería en la región nororiental de Cuba (Bruzón Sánchez, Herrero Echavarría, Salazar Diez, & Batista Martínez, 2012), y Metodología para el mejoramiento y rehabilitación de ecosistemas degradados por la extracción de níquel en áreas de la Empresa "Comandante René Ramos Latour" (Batista Martínez, 2016) utilizada actualmente en la rehabilitación minera en áreas degradadas o abandonadas por la explotación a cielo abierto.

Estas investigaciones van dirigidas a la rehabilitación del ecosistema afectado por la minería, con énfasis en los aspectos ecológicos y forestales, sin tener en cuenta que en este proceso, deben contemplarse otros posibles usos del terreno, por ejemplo: uso urbanístico e industrial, recreativo, agrícola, forestal, conservación de la naturaleza y refugio ecológico, depósitos de agua y abastecimiento; además no se incorpora como prioridad la gestión económica y socio-ambiental como un sistema cíclico que permita mitigar paulatinamente, con un enfoque integrado, las afectaciones de los ecosistemas, lo que no posibilita la consecución del desarrollo sostenible del ecosistema afectado.

La empresa se enfoca en lograr la cobertura forestal planificada para el año y no en la rehabilitación del ecosistema total o parcial, lo que no permite lograr beneficios en este proceso y la consecución del desarrollo sostenible del ecosistema.

Un estudio minucioso en la solución de estas problemáticas evidencia las deficiencias siguientes: no se realiza la evaluación económica del ecosistema antes del proceso de explotación (ex ante), durante el proceso extractivo ni posterior a la rehabilitación minera; el proceso de rehabilitación minera carece de las dimensiones económicas, sociales y ambientales con un enfoque sistémico que permita lograr una armonización desde el proceso de prospección hasta el cierre del yacimiento, lo que provoca grandes afectaciones al medio natural. Del análisis de los autores anteriormente mencionados se define que los elementos del medio ambiente (flora, fauna y medio físico) deben ser protegidos en la minería, pero no se contempla un procedimiento donde converjan las dimensiones económicas, sociales y ambientales desde la planificación, organización, liderazgo y control que permita alcanzar una rehabilitación integral y sostenible.

Por lo antes expuesto se identifica el siguiente **problema científico de investigación**: La rehabilitación minera no está concebida como un proceso que integre analíticamente las dimensiones económica, social y ambiental para mejorar las decisiones empresariales y gubernamentales en aras de un desarrollo sostenible del ecosistema afectado.

Se propone como **objeto de investigación**: Gestión económica y socio-ambiental.

Se define como **campo de acción**: Gestión económica y socio-ambiental en la rehabilitación minera.

Se propone como **objetivo general**: Diseñar un procedimiento para la rehabilitación minera con la integración de las dimensiones económica, social y ambiental que permita alcanzar un estadio superior en la gestión para la recuperación del ecosistema degradado.

Para dar cumplimiento al objetivo general se trazaron los siguientes **objetivos específicos**:

1. Analizar los fundamentos teóricos y metodológicos del proceso de gestión económica y socio-ambiental en la rehabilitación minera y su repercusión en el ecosistema.
2. Diseñar un procedimiento que permita determinar el nivel de aplicación de la gestión económica y socio-ambiental en la rehabilitación minera.
3. Validar, mediante el método de expertos, el procedimiento para la gestión económica y socio-ambiental en la rehabilitación minera.

Se formula como **hipótesis**: El diseño de un procedimiento para la gestión económica y socio-ambiental en la rehabilitación minera con la integración de las dimensiones económica, social y ambiental, contribuirá con la eficiencia en el proceso minero, a través de la recuperación del ecosistema afectado.

La **novedad científica** de la investigación se enmarca en:

Un procedimiento para la gestión económica y socio-ambiental que permitirá, en la aplicación de sus diferentes etapas, la integración de las dimensiones económica, social y ambiental en el proceso de la rehabilitación minera y la recuperación integradora del ecosistema afectado.

El **impacto económico será la mayor contribución** de la investigación mediante una mayor eficiencia económica en el desarrollo del plan de rehabilitación minera con un enfoque integrador y la incorporación de la valoración económica de los bienes y servicios ecosistémicos.

El **impacto social** responde a que la valoración económica y socio-ambiental mediante el procedimiento presentado, ayudará a los directivos de empresas mineras y al gobierno local a tomar decisiones en cuanto a la planificación, organización y control del ecosistema. Contribuirá además con la generación de nuevas fuentes de empleo, la disminución de los impactos ambientales y el incremento del bienestar social.

El **impacto ambiental** se evidencia en el mejoramiento del ecosistema mediante la rehabilitación minera con un enfoque sistémico que propicie el desarrollo sostenible de las áreas que serán rehabilitadas.

En la investigación se utilizaron **métodos teóricos** tales como:

Dialéctico-materialista: permite detectar y analizar el problema planteado. Además, se manifiesta de forma particular a través de cada uno de sus métodos específicos.

Analítico-sintético: para desarrollar el análisis teórico y práctico del objeto de estudio, a través de su descomposición en los elementos que lo integran y la determinación de las variables con mayor incidencia en la investigación, como resultado de un proceso de síntesis.

Histórico-lógico: para analizar la evolución de la temática estudiada y la reseña de aquellos elementos que han marcado hitos en su devenir histórico.

Inductivo-deductivo: en el diseño y aplicación del procedimiento para la gestión económica y socio-ambiental en la rehabilitación minera.

Hipotético-deductivo: para la formulación de la hipótesis, la comparación y generación.

Entre los **métodos empíricos** más utilizados se encuentran:

Observación científica directa: para la caracterización del objeto de estudio.

Revisión documental: análisis de los diferentes documentos relacionados en el objeto de investigación.

Encuestas y entrevistas: para el estudio y recopilación de la información con respecto al procedimiento que existe actualmente en la rehabilitación minera.

Método DELPHI: facilitará la obtención del conocimiento tácito de los expertos donde se podrá evaluar sus criterios en contenidos que lo requieran.

Estadístico-matemático: En el diseño y formulación de indicadores económicos para la rehabilitación minera.

**Estructura de la Tesis:**

La tesis consta de Introducción y dos capítulos fundamentalmente relacionados con: Fundamentos teóricos en la gestión económica y socio-ambiental en la rehabilitación minera y el diseño de un procedimiento para la gestión económica y socio-ambiental en la rehabilitación minera con su correspondiente validación. Además se proponen Conclusiones, Recomendaciones, Bibliografías y Anexos.

# **CAPÍTULO I FUNDAMENTOS TEÓRICOS EN LA GESTIÓN ECONÓMICA Y SOCIO-AMBIENTAL EN LA REHABILITACIÓN MINERA**

## **Introducción**

Abordar la temática de la explotación minera requiere un análisis ex-ante del ecosistema donde se localiza, esto permitirá precisar el nivel de afectación generado por el alto grado de contaminación al medio ambiente. Esta situación demanda el establecimiento de una gestión económica y socio-ambiental, razón que hace imprescindible dirigir el accionar a la recuperación de las áreas minadas, y posibilitar la rehabilitación del ecosistema afectado.

El presente capítulo tiene como objetivo analizar los fundamentos teóricos de la relación economía y medio ambiente en los daños provocados por la explotación irracional de los recursos naturales en los ecosistemas, así como el desarrollo de un proceso de rehabilitación minera consecuente con esas afectaciones a los ecosistemas.

Los aportes realizados a esta problemática, por diversos autores, contribuyeron con alcanzar la construcción del marco teórico-referencial de la tesis con la siguiente estructura:

- Fundamentos teóricos sobre la economía y los recursos naturales
- Definición y caracterización del ecosistema en los yacimientos lateríticos
- La explotación de los yacimientos minerales y su incidencia en el ecosistema
- La valoración económica de bienes y servicios ecosistémicos como expresión de la gestión económica y socio-ambiental
- Diagnóstico sobre las afectaciones que se producen al medio físico, la biota y el medio socioeconómico en el área minada
- La rehabilitación minera en el desarrollo sostenible
- La rehabilitación minera en los yacimientos lateríticos en Cuba

## **1.1 Fundamentos teóricos sobre la economía y los recursos naturales**

Al analizar los antecedentes de los recursos naturales existentes en los ecosistemas y su incidencia en el desarrollo económico en el campo de la teoría económica, se debe destacar que estas corrientes del pensamiento han sido tratadas por varios autores en las diferentes escuelas surgidas, como la mercantilista, fisiócrata, clásica, marxista, neoclásica, entre otras.

La escuela «mercantilista» del siglo XVI contó con precursores como Thomas Mun (1571-1641), William Petty (1623-1687), Antoine Montchetrein (1615) y Juan Bautista Colbert (1619-1683), los mismos exponían que para producir lo que la población necesita se debe favorecer a las industrias y el comercio con vistas a la obtención de ganancias y para ello era necesario vender mucho y comprar poco a otras naciones (exportaciones sean superiores a las importaciones). Estos autores defendían el desarrollo de la industria y el comercio como factores generadores de ganancias sin considerar en su concepción económica la necesaria protección de ese medio ambiente afectado por las propias actividades del hombre.

En el siglo XVIII surge la escuela «fisiócrata» con figuras destacadas, François Quesnay (1694-1774), Pierre Samuel Dupont de Nemours (1739-1817) y Ana Roberto Jacobo Turgot (1727-1781), estos explicaban que la economía era generada fundamentalmente por la producción agraria capitalista. Para ellos la naturaleza era facilitadora de todos los beneficios económicos para la nación. Esta escuela continuaba con la perspectiva del crecimiento económico de la agricultura, por lo que considera la tierra como principal fuente de riqueza, Los fisiócratas y en especial Quesnay, el más destacado economista de la época, propuso como objetivo de la moderna Economía “acrecentar las riquezas renacientes sin menoscabo de los bienes fondo” (entre los que figura sobre todo la capacidad generadora de la Madre-Tierra). Los fisiócratas señalan que la fuerza de la naturaleza no juega un papel en la industria.

Ambas escuelas consideran la madre tierra como la fuente de todo producto neto donde se generan las bases para la explotación irracional de los recursos en función del mercado. (Rodríguez Córdova, 2002)

Mediante el estudio de las escuelas mercantilistas y fisiócratas se aprecia el enfoque clásico sostenido por los precursores y una despreocupación por los problemas ambientales, pues defendían que el crecimiento económico no estaba limitado por el uso de los recursos naturales.

La denominada «escuela clásica inglesa» inicia en el año 1725 con pensadores como Adam Smith (1725-1790), consideraba que la economía es la naturaleza y la causa de la riqueza de las naciones, y a su vez, la única fuente de riqueza es el trabajo, y la división del trabajo es la base para impulsar la producción y la productividad. Incluye en su teoría económica como forma autorreguladora, la llamada mano invisible, no es más que la asignación de recursos y factores productivos, determinada por la oferta y la demanda de mercado.

David Ricardo (1772-1823) entiende por economía la distribución de la riqueza dependiente de la producción, y divide a la sociedad en trabajadores que reciben salarios, propietarios del suelo, receptores de rentas y capitalistas industriales perceptores de ganancias, y donde la clase de los terratenientes se beneficia económicamente a costa de otras personas. (Colegio de bachilleres, 2010)

En la teoría clásica dada por los diferentes precursores se exponía la existencia de una interdependencia entre recursos naturales, el desarrollo económico y la preservación del medio ambiente, debido al desconocimiento de los problemas ambientales provocados por la actividad humana.

Otro de los precursores de esa época fue Carlos Marx, se refiere a la economía como la disciplina científica que analiza las relaciones sociales entre agentes económicos y factores de producción en el desarrollo de la sociedad. Y el punto de partida para el análisis de la crisis ambiental contemporánea está en la propia producción mercantil. Mientras la producción precapitalista de valores de uso tiene su

límite en la satisfacción de las necesidades, la producción mercantil para incrementar la ganancia no tiene límite alguno. Esta diferencia, tan sencilla y general, está en la base del agotamiento de los recursos naturales a un ritmo nunca sospechado en la historia de la humanidad; y también de la generación de desechos (polución) en una medida ilimitada. (Rodríguez Córdova, 2002; Reynaldo Argüelles, 2013)

Alfred Marshall (1842-1924) representante de la escuela neoclásica ve la economía como la maximización de la satisfacción individual con objetivos múltiples y recursos escasos. Exponía además sobre el equilibrio general, asumió como premisa el equilibrio parcial y los precios que tendrían todos los bienes de la economía en los cuales deben ser fijados simultáneamente, cada uno de ellos en su propio mercado de precios flexibles. (Labandeira, León, & Xosé Vázquez, 2007)

La escuela económica neoclásica al incorporar el medio ambiente como objeto de estudio, dio lugar al nacimiento de la economía ambiental a finales de los años cincuenta e inicio de los sesenta del siglo XX y quedó definida como un movimiento tendente al estudio de las causas que provocan desajustes entre el desarrollo económico y el entorno ambiental manifestado por el nivel de degradación ambiental como resultado de los fenómenos de la contaminación de los países industriales.

La economía ambiental utiliza como herramientas fundamentales para determinar el grado de degradación ambiental, la teoría de las externalidades y la asignación intergeneracional óptima. El fenómeno de las externalidades ambientales negativas producidas por las acciones antrópicas que se puede interpretar como una utilización gratuita de los bienes y servicios del medio ambiente traducido en un fallo del mercado. La existencia de efectos externos o externalidades negativas, como la contaminación ambiental, se identifica como costo externo marginal e integralmente como costo social marginal, al ser equivalente a los costos sociales, los cuales no son compensados en general, es decir, no se logran internalizar en los costos de producción las externalidades. (Rodríguez Córdova, 2002)

En el año 1960, R. Coase publica *El Problema del Costo Social*, donde manifiesta no coincidir con el procedimiento intervencionista estatal preconizado por Pigou 1920 en

su obra *La economía del bienestar* y propone un principio de negociación voluntaria entre los agentes implicados, al propiciar la internalización de las externalidades mediante compensaciones, aunque es necesario precisar que Coase reconoce lo costoso que resulta realizar transacciones en el mercado, y es preciso descubrir con quién se va a negociar y en qué condiciones.

Para Lara López (2007) la Economía Ambiental aborda los problemas de gestión de la naturaleza como externalidades a valorar desde el instrumental analítico de la economía ordinaria, que razona en términos de precios, costos y beneficios reales o simulados.

Según lo expuesto por Pigou, en la referida obra *Economía del bienestar* (1920) citado por Aguilera Klink & Alcántara (2011), la corrección de las externalidades está presente cuando no existen relaciones contractuales entre el causante y los afectados por la externalidad y el Estado, si así lo desea, puede «impulsar o restringir de un modo extraordinario las inversiones en dichas actividades. Las formas más conocidas para impulsar y restringir las inversiones pueden revestir carácter de primas o impuestos». Queda demostrado por Pigou en 1920 que para corregir estas externalidades deben existir dos partes: un responsable y un perjudicado.

Field (1996) citado por Chavarro & Quintero (2011), define la economía ambiental como la aplicación de los principios económicos al estudio de la gestión de los recursos ambientales o de manera alternativa se puede definir en virtud de su propósito, esto es, como la rama de la economía que se dedica al estudio de cómo y por qué las decisiones de individuos repercuten en el entorno natural y cómo se puede actuar sobre ellos para respetar a los humanos y al ecosistema.

Para Iturria, 2006 citado por Reynaldo Arguelles (2013) la Economía Ambiental se define como costos ambientales, los costos asociados al deterioro de los recursos naturales que carecen de un precio que regule su utilización. En esta clasificación se incluye el costo de las actividades preventivas, el costo de actividades de restauración por daños ambientales, las multas y las sanciones.

La escuela neoclásica ayuda con la incorporación de instrumentos o herramientas para contrarrestar la crisis contemporánea relacionada con la degradación existente en el medio ambiente por la explotación irracional de los recursos naturales. Esta teoría tiene un espectro reducido, pues se realizan acciones para restablecer los espacios donde se han producido las externalidades negativas y permite rehabilitar parcialmente los bienes y servicios ofrecidos por la naturaleza.

En la búsqueda de una mayor interrelación entre la economía y el medio ambiente se pudo evidenciar que la economía ambiental tiene un enfoque micro pues aborda solo los efectos de la degradación, por ende, a partir de la década de los años 70 del siglo XX surge con posterioridad a la economía ambiental el paradigma de la economía ecológica, esta tiene un enfoque macro, y es que la actividad económica no puede existir sin un enfoque biofísico que la sostenga. En el surgimiento de este paradigma existieron varios autores como Georgescu –Roeger (1971), Naredo (1987), Daly (1990), Martínez Alier (1991), Bresso (1993) y Aguilera (1994).

Para Naredo (1992) la Economía Ecológica se reclama el objetivo de un enfoque ecointegrador, cuyos fundamentos afectarían al método, al instrumental e incluso al propio estatuto de la economía, al sacarla del universo aislado de los valores de cambio en el que hoy se desenvuelve, para hacer de ella una disciplina obligadamente transdisciplinar.

Mientras Rodríguez Córdova (2002) considera la Economía Ecológica como el estudio multidisciplinario de problemas económicos derivados esencialmente en los límites y fronteras impuestos a la economía humana por el contexto físico natural o «gran economía». También la define como la aplicación colectiva de la economía, la ecología y otras disciplinas para desarrollar una nueva categoría de análisis en las relaciones hombre-naturaleza.

Bresso (2006) concibe que la Economía Ecológica está todavía en sus inicios y es incipiente el estudio sobre la exploración de todas las consecuencias en el proyecto de auto transformación de la disciplina, que se ocupa con las más variadas facetas de los problemas ambientales. Este autor percibe al planeta tierra como un sistema

abierto a la entrada de energía proveniente del sol, permite desarrollar todas las actividades humanas, la misma afecta negativamente los ciclos nutrientes (carbón, nitrógeno, sulfuro, fósforo) e hidrológicos.

El análisis de las diferentes corrientes del pensamiento económico permitió concluir que la escuela neoclásica impulsó cuantitativamente la incorporación del medio ambiente como objeto de estudio dentro de la economía. La economía ambiental facilita la incorporación de instrumentos para contrarrestar las externalidades provocadas en los ecosistemas por las actividades productivas y de servicios.

En la actualidad los países como Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Costa Rica, Cuba, Ecuador, España, México, Perú, República Dominicana y Venezuela, al apreciar las externalidades que presentan con respecto al medio ambiente (recursos naturales), han diseñado nuevas alternativas como la incorporación de instrumentos reguladores de comando, control y económicos para una mejor gestión ambiental, para así lograr perfeccionar cada vez más los esquemas tradicionales de regulación directa, potenciándose estas investigaciones entre los años 1990-2010.

Para estos gobiernos la creación y establecimiento de instrumentos económicos en la protección del medio ambiente son herramientas imprescindibles al realizar regulaciones estándares. Esto ayuda a regular el precio, los niveles de rentabilidad y la competitividad de las empresas; y por otro lado, el control de los consumidores y productores, que intentan transformar las conductas negativas hacia el entorno.

Existen otros instrumentos económicos que actualmente se utilizan para la protección y gestión ambiental como los cargos, los impuestos ambientales, las tarifas por incumplimiento de la normativa, los sistemas de depósito-reembolso, la obligación económica cuando se determina responsabilidad jurídica sobre daños ambientales (el que contamina paga), los sistemas de permiso transables, los bonos condicionados al desempeño ambiental, y los subsidios a actividades vinculadas a la protección ambiental. PNUD/CEPAL (2000)

Instrumentos y herramientas que se utilizan en la Economía Ambiental:

- Establecimiento de niveles óptimos permisibles de contaminación con criterios de mercado
- Utilización de incentivos económicos como impuestos, subvenciones, permisos de contaminación
- Utilización de metodologías de valoración de los recursos naturales en niveles macroeconómicos
- Utilización del análisis costo – beneficio para la toma de decisiones (Hartley Ballesterro, 2008)

Otros de los instrumentos económicos no mencionados anteriormente por estos autores, pero que sirven para lograr mantener la protección del medio ambiente son: los aranceles, las bonificaciones, los precios, los créditos, las etiquetas ecológicas y los seguros ambientales, entre otros.

Estos instrumentos tienen como finalidad buscar la compensación de los costos ocurridos por el uso del patrimonio natural o la penalización monetaria a empresas e instituciones que dañen el medio ambiente con su objeto social. (CEPAL, 2015)

## **1.2 Definición y caracterización del ecosistema en los yacimientos lateríticos**

El tema objeto de investigación está relacionado con la rehabilitación minera, en los yacimientos lateríticos, por lo que es imprescindible el estudio del ecosistema donde se localizan y las afectaciones a los bienes y servicios ambientales que se encuentran en el mismo, así como de su valoración económica.

Los recursos minerales, por su carácter no renovable, presentan un alto grado de explotación al ser una de las principales fuentes de ingreso financieros en los países en vías de desarrollo. La explotación irracional de los yacimientos lateríticos provoca afectaciones en los componentes del ecosistema natural donde se localizan geográficamente. Es por esto que la Ley 81/1997 de Medio Ambiente, define ecosistema como un sistema complejo, con una determinada extensión territorial,

dentro del cual existen interrelaciones de los seres vivos entre sí y de estos con el medio físico o químico.

Los yacimientos lateríticos están representados por rocas del corte ofiolítico, el complejo ultramáfico metamorfozido, compuesto por peridotitas normales, peridotitas piroxénicas, gabro-peridotita, peridotitas plagioclásicas, gabroides olivínicos y gabroides normales.

Estas rocas del complejo ultramáfico metamorfozido que originan las cortezas de intemperismo friables, ricas en fósforo (Fe), níquel (Ni) y cobalto (Co), son las más abundantes en el sector y se extraen como materia prima mineral para el proceso metalúrgico.

Los yacimientos lateríticos son ricos en vegetación, se desarrollan sobre suelos derivados de las rocas ultra básicas serpentinizadas que tienen abundantes elementos pesados como hierro, sílice, aluminio, cromo, manganeso, níquel, cobalto y altas concentraciones de óxido de magnesio (MgO) y óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) los cuales provocan enfermedades respiratorias que afectan la salud humana.

La flora se encuentra constituida por plantas que a través de su evolución se han adaptado a este medio y han tomado características muy particulares. La fauna se caracteriza por especies poco comunes (anolis rubribarbus, anolis inexpectatus y leicocephalus macropus macropus) y está en correspondencia con el clima y la vegetación existente, por lo que abundan especies raras, sobre todo en los invertebrados.

La avifauna que no es muy abundante en cuanto a especies, cuenta con ejemplares poco comunes en otras regiones, como el Tocatoro (*Priotelus temnurus*), *Capromys pilorides*, Pedorrera (*Todus multicolor*), Carpintero verde (*Xiphidiopicus percussus*), Totí (*Dives atrovioleceus*), Tomeguín del pinar (*Tiaris canora*), *Tropidophis melanurus*, *Epicrates angulifer*, *Porcatus* y *Eleutherodactylus auriculatus*, endémicas de la región y tienen presencia en las concesiones mineras. (Durán Zaldivar, 2016)

### **1.2.1 La explotación de los yacimientos lateríticos y su incidencia en el ecosistema**

Al analizar la composición de los recursos naturales se evidencia la importancia que los minerales representan en la satisfacción de las necesidades humanas, de ahí, que sea una actividad económica importante en el desarrollo de la sociedad. Dichos minerales constituyen la base de la materia prima para la industria y para la producción de gran parte de los bienes materiales que actualmente se utilizan.

Es por eso que los yacimientos minerales constituyen cualquier acumulación natural de sustancias minerales en el suelo o en el subsuelo, que puedan ser utilizados y explotados como fuente de materia prima y como fuente de energía, y las concentraciones de piedras preciosas, semipreciosas y de cualquier otra sustancia mineral, cuya explotación tenga importancia económica (Ley 76, 1995). Por tanto, los países que cuentan con estos recursos desarrollan la minería a cielo abierto o subterránea, pues incorpora grandes ingresos al producto interno bruto.

La minería es el conjunto de actividades referentes al descubrimiento y la extracción de recursos minerales que se encuentran bajo la superficie de la tierra. En este sentido, el desarrollo minero genera grandes impactos ambientales en los países donde se realiza esta actividad. La minería trae aparejada altas degradaciones del suelo, contaminación (emisiones a la atmósfera y contaminación sónica, productos químicos y desechos peligrosos, residuales líquidos y residuos sólidos), carencia y dificultades con la disponibilidad y calidad del agua, pérdida de la biodiversidad, destacándose las pérdidas de la flora, en especial de la cobertura forestal, la fauna, lo que repercute negativamente en el paisaje y contribuye a las afectaciones al cambio climático. Además, trae consigo afectaciones a la salud humana.

Es válido destacar que posterior a la intervención minera, fragmentos de roca de diversas dimensiones afloran a la superficie, se crean depresiones en el relieve y restos de subsuelos permanecen en áreas muy pequeñas, desaparecen los cauces

de agua y todo vestigio de vida, desde la fauna silvestre hasta la micro flora y fauna edáfica. (Herrero Echevarría et al., 2009)

Aunque los impactos más evidentes ocurren en la zona minera propiamente dicha, son frecuentes las afectaciones en los lugares adyacentes, pueden alcanzar zonas muy alejadas del foco de contaminación. Estos impactos ambientales poseen dos elementos que los interrelacionan: el movimiento de las masas de aire y, sobre todo, el ciclo hidrológico del planeta; en ocasiones son extremadamente graves, incluso pueden tener carácter terminal (difícil de recuperar mediante técnicas de tratamiento de residuos, rehabilitación, restauración o combinación varios). (Rendón Díaz, 2011)

Para revertir los daños ocasionados por la actividad minera y los impactos negativos al medio ambiente se hace necesario incorporar la categoría de valoración económica de los bienes y servicios ecosistémicos que permita valorar de una forma cuantitativa el ecosistema, antes de ser explotado (ex-ante), durante la actividad extractiva y posterior, en el proceso de la rehabilitación minera, como una expresión de la necesidad de la aplicación de la gestión económica y socio-ambiental.

### **1.3 La valoración económica de bienes y servicios ecosistémicos como expresión de la gestión económica y socio-ambiental**

La supervivencia o desarrollo de cualquier sociedad tiene una alta dependencia del flujo de los bienes y servicios proporcionados por los ecosistemas. Sin embargo, la asignación de recursos para la protección, conservación, restauración o rehabilitación de ecosistemas compite contra usos que implican la explotación y/o conversión de los mismos y en los cuales se derivan beneficios económicos.

Los beneficios económicos se pueden obtener como consecuencia de una inversión realizada, donde generalmente no se contemplan las afectaciones producidas en los ecosistemas y, por tanto, no forman parte de los costos de producción derivados de la ejecución de la inversión. Estas afectaciones o impactos ambientales al ecosistema son conocidas como externalidades y el objetivo central es lograr que formen parte del costo de producción. Para lograrlo se deben internalizar las

externalidades y así contribuir con el cálculo de los costos ambientales, como parte de los costos de producción.

Los beneficios económicos que se derivan de la aplicación de la rehabilitación de los ecosistemas están en la mayoría de los casos determinados por el mercado, pero no siempre responden plenamente a las afectaciones producidas al ecosistema, por ser complejo su cálculo y por tanto no se contemplan la magnitud total de las afectaciones al mismo y no tienen en cuenta todas las externalidades producidas, para así recuperar plenamente las capacidades del ecosistema en el proceso de rehabilitación. Dejar de calcular los costos ambientales que implican la inversión realizada no permite un análisis correcto del costo-beneficio de la inversión.

Aunque los ecosistemas brindan diferentes beneficios económicos, en muchos casos no se tiene apreciación de los mismos en el mercado, pues no se cuenta con una expresión contable ni monetaria que muestre su importancia y repercusión en el bienestar de la sociedad.

Es por esto que la valoración económica y socio-ambiental surge como una alternativa y permite por diferentes métodos obtener indicadores, que pueden traducirse en unidades monetarias los costos que implican los usos de explotación de los ecosistemas y a los beneficios derivados de los usos de protección y conservación de los ecosistemas. Esto hace posible comparar usos alternativos de los recursos naturales para hacer una mejor asignación de los mismos. (PNUD/CEPAL, 2000)

Analiza además que la valoración económica puede ser útil en la definición de un grupo de prioridades políticas o acciones en relación con la protección del medio ambiente y sus servicios. Este concepto pone al descubierto la necesidad de la sociedad de incorporar nuevos conceptos para efectuar el proceso de toma de decisiones en relación con los recursos naturales. (PNUD/CEPAL, 2000)

David Pearce (1993) citado por Osorio Múnica and Correa Restrepo (2004) expresa que la valoración económica del medio ambiente consiste en encontrar la disposición

a pagar por obtener los beneficios ambientales o por evitar los costos ambientales medidos a través del comportamiento del mercado.

Azqueta (1994) citado por Osorio Múnera and Correa Restrepo (2004) señala que la valoración económica significa poder contar con indicadores que permitan apreciar la importancia del medio ambiente en el bienestar social, y estos, permiten apreciar su comportamiento.

El Programa de Desarrollo Sostenible para la Industria Minera del Departamento de Industria; Turismo y Recursos del Gobierno de Australia (2006) señala la valoración económica como una herramienta que ofrece la ciencia económica en su incesante propósito de trazar un camino hacia el desarrollo sostenible, que permita dirigir los esfuerzos a la formulación de políticas de protección y conservación de los recursos naturales con vistas a revelar su verdadero valor.

Hartley Ballesteros (2008) considera la valoración económica como una herramienta que traduce en unidades monetarias los cambios en el bienestar de las personas ante variaciones en la calidad o cantidad de los bienes y servicios ecosistémicos.

Oyarzun Muñoz (2011) señala que valorar económicamente los bienes y servicios ambientales significa contar con un indicador monetario que permita determinar el valor de una alteración desfavorable en el medio natural provocada por una acción o actividad económica. Esta acción provoca un cambio en la condición de los recursos afectados, al pasar de un estado de conservación a otro más deteriorado.

Alpizar (2014) plantea que el ejercicio de valoración económica del daño causado por la explotación minera debe plantearse haciendo una distinción entre costos financieros y costos económicos, directos e indirectos. Los costos financieros se estiman utilizando típicamente precios en mercados existentes, y como tal el análisis se limita a hacer un balance contable de las pérdidas asociadas a la explotación minera.

De esta forma, la valoración económica permite cuantificar, en términos monetarios, el valor de los bienes y servicios ecosistémicos, independientemente de si cuentan o

no con un precio o mercado. (Ministerio del Ambiente. Dirección General de Evaluación. Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural, 2015)

Los costos económicos se estiman partiendo de los costos financieros, pero ajustándolos para capturar el cambio en bienestar. En el caso de daños, se afirma que los costos financieros son siempre una subestimación de los costos económicos. Típicamente los costos económicos trascienden la valoración de daños directos, para incluir efectos indirectos de los eventos extremos y/o desastres. Esto obliga al evaluador a rastrear y tipificar una serie de daños que vienen ligados al daño directo más obvio. (Gómez Pais, Gómez Gutiérrez, & Rangel Cura, 2015)

Gómez Pais et al. (2015) expone que el proceso de valoración económica de bienes y servicios ecosistémicos constituyen argumentos para el proceso de toma de decisiones al definir políticas de desarrollo, incorporar el valor del capital natural en la contabilidad nacional, sustentar indicadores ambientales y argumentar pagos por servicios ambientales ante un evento extremo y/o desastre, de manera que estos resultados puedan ser incorporados en el proceso de toma de decisiones para decidir las políticas a seguir en los territorios.

Montes de Oca Risco (2017) permite identificar y monetizar aquellos impactos internalizables en términos de la implementación de medidas de corrección y mitigación. Y permite identificar y monetizar aquellos impactos que se pueden mostrar en términos de externalidades ambientales con importantes costos sociales.

En este sentido, la conservación y el aprovechamiento sostenible de los bienes y servicios ecosistémicos deben formar parte de la estrategia de desarrollo local en cada país; se requiere entonces de investigaciones sobre la asignación de los recursos escasos (bienes y servicios del ecosistema) que aporten argumentos técnicos para la cuantificación de los beneficios provenientes del ambiente.

Por lo antes expuesto, la valoración económica dentro de las políticas ambientales sirve como el instrumento para atribuir valor económico a los bienes y servicios

ecosistémicos. Mediante este método se pretende cumplir dos objetivos esenciales para la economía: lograr eficiencia económica y crecimiento sostenible.

Posterior al análisis teórico de diferentes fuentes bibliográficas, el autor asume que la valoración económica del medio ambiente es el método que permite evaluar monetariamente los bienes y servicios ecosistémicos, cuyo propósito es revelar el verdadero costo del uso y la escasez de los recursos naturales.

En la actualidad, el proceso de la valoración económica de bienes y servicios se realiza fundamentalmente mediante los inventarios efectuados a los ecosistemas, los balances al patrimonio natural (ex ante) y su valoración económica, la evaluación de los impactos ambientales que se producen por la explotación y el proceso de rehabilitación del ecosistema con su valoración económica.

### **Métodos de la valoración económica**

Valor económico total: se considera que cualquier bien o servicio ecosistémico puede estar compuesto por distintos valores: unos tangibles y fácilmente medibles, otros intangibles y difíciles de cuantificar (Monroy Hernández, Valdivia Alcalá, Sandoval Villa, & Rubiños Panta, 2011). La sumatoria de los valores de uso directo, indirecto, opción y existencia, genera el valor económico total de un recurso.

El valor de uso directo incluye a los bienes y servicios de los ecosistemas, de los cuales el hombre puede beneficiarse de manera directa. Pueden formar parte de esta función productos asociados a actividades comerciales y no comerciales.

En el primer caso se incluyen todos aquellos productos y servicios provenientes del ecosistema que son comercializados, tales como la extracción de madera, productos de la pesca, recreación y turismo. En general el valor de dichos productos y servicios son de fácil determinación, pues existe un mercado definido, aunque los precios no siempre sean los adecuados.

En el segundo caso se incluyen aquellos productos destinados a la subsistencia de la población local y que no pasan por el mercado como alimento, agua, energía y

materiales para viviendas. En este caso el valor económico resulta más difícil de medir, con mucha frecuencia estos productos no mercantiles destinados a la subsistencia no son incluidos ni tenidos en cuenta en las decisiones de desarrollo.

El valor de uso indirecto está representado por servicios ambientales que brinda el ecosistema. Desde el punto de vista económico la tarea consiste en la estimación de su valor, pues no poseen precio en el mercado y no son comercializables. Existen dos alternativas posibles para ello: la primera se basa en el hecho de que generalmente protegen o soportan actividades económicas que sí tienen valores medibles directamente, por lo que resulta posible inferir su valor; la segunda está condicionada por el hecho de que en el mercado pueden existir sustitutos perfectos que infieren su valor.

El valor de opción representa potencialmente el posible uso futuro del ecosistema, directa o indirectamente. En tal caso se aplicaría cualquiera de las variantes mencionadas, según corresponda.

Los valores de no uso están relacionados con el valor que encierra el ecosistema para el conocimiento futuro. En lo económico esta función suele definirse como la disposición a pagar por la sociedad, con el objetivo de preservar el recurso natural dado por el valor intrínseco. El valor de existencia es el valor de la información genética que contiene, como el hábitat crítico de especies en peligro de extinción.

En resumen, la valoración económica y socio-ambiental permite establecer un valor económico de los bienes y servicios ambientales en todas las etapas de un proyecto minero, principalmente en las afectaciones producidas al medio físico, la biota y al aspecto socio-económico. Esto constituye una expresión cuantitativa de las degradaciones producidas al medio ambiente por la extracción minera, que permita incorporar acciones en función de la toma de decisiones. El valor de uso directo e indirecto se realizan ex ante y ello sirve de base económica para calcular el daño ambiental que se produzca al ecosistema.

A continuación, se expone en la Tabla # 1 los elementos a tener en cuenta para las distintas expresiones del valor económico total.

Valor de uso		Valor de no uso	
Valor uso Directo	Valor uso Indirecto	Valor de opción	Valor de existencia
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Madera/Leña</li> <li>• Alimentos vegetales</li> <li>• Alimentos animales</li> <li>• Artesanía</li> <li>• Agua potable</li> <li>• Agua para la agricultura</li> <li>• Agua para la industria</li> <li>• Turismo/Recreación</li> <li>• Farmacéuticos</li> <li>• Construcción</li> <li>• Materia Prima</li> <li>• Investigación</li> <li>• Educación</li> <li>• Reproducción de especies</li> <li>• Biomasa</li> <li>• Plantas medicinales</li> <li>• Plantas ornamentales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suplidor de Agua Subterránea</li> <li>• Control de inundaciones</li> <li>• Retención de sedimentos</li> <li>• Retención de nutrientes</li> <li>• Mantenimiento de calidad de agua</li> <li>• Soporte a biodiversidad</li> <li>• Producción de O<sub>2</sub></li> <li>• Secuestro de CO<sub>2</sub></li> <li>• Belleza escénica</li> <li>• Protección de las cuencas hidrográficas</li> <li>• Polinización</li> <li>• Reproducción especial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Especies</li> <li>• Conservación de hábitat</li> <li>• Protección de biodiversidad</li> <li>• Potencial farmacéutico</li> <li>• Potencial turístico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Especies en extinción</li> <li>• Estética</li> <li>• Conservación consumo de videos</li> </ul>

#### **1.4 Diagnóstico sobre las afectaciones que se producen al medio físico, la biota y el medio socioeconómico en el área minada**

Las acciones antrópicas que provocan impactos ambientales son inherentes a la actividad del hombre, a partir de la comunidad primitiva se incrementan paulatinamente con el devenir del desarrollo de la sociedad en sus distintos estadios, y de forma exponencial al medio ambiente.

Entre las principales actividades que inciden en el medio ambiente está el desarrollo industrial, este sector genera grandes cúmulos de residuos sólidos y líquidos, vertimientos de productos químicos y desechos peligrosos, pérdida de la cobertura forestal y la biodiversidad, gases de efecto invernadero y emisiones a la atmósfera y contaminación sónica, a pesar de las acciones que realizan las empresas para minimizar los efectos negativos provocados por esta actividad.

Rodríguez Córdova (2005) señala que impacto ambiental, son efectos positivos o negativos producidos en el medio ambiente como consecuencia de las acciones antrópicas, es decir, producidas por el hombre.

Arboleda (2008) plantea que impacto ambiental es el cambio ocasionado sobre una condición o característica del ambiente por efecto de un proyecto, obra o actividad y puede ser benéfico o perjudicial, ya sea para su mejora o deterioro, logra producirse en cualquier etapa del ciclo de la vida de los proyectos y tener diferentes niveles de significancia.

Sánchez Angulo (2009) expone que se entiende por impacto ambiental el efecto producido por una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos.

El concepto puede extenderse a los efectos de un fenómeno “natural” catastrófico o “impacto ambiental” como la diferencia entre lo que había y lo que hay después de una actividad humana o fenómeno natural. (Oyarzun, Higuera, & Lillo, 2011)

Estos impactos pueden ser evaluados en directos, como todas aquellas actividades surgidas del proceso productivo (gases, fluidos, ruidos, polvo, impactos visuales); y

los indirectos se encuentran vinculados con lo socioeconómico (destrucción del medio de vida de las comunidades y la sostenibilidad económica de los pobladores locales). (Oyarzun et al., 2011)

Loustaunau (2014) expone que el impacto ambiental es cualquier modificación del medio ambiente, sea adversa o beneficiosa, como resultado total o parcial de las actividades, productos o servicios de una organización.

En resumen, los impactos ambientales son provocados por las actividades antrópicas sobre el medio ambiente, e inciden negativamente en los componentes y características del área.

Existen diferentes tipologías de impactos ambientales para realizar diagnósticos que permitan conocer las afectaciones provocadas al medio ambiente, sin embargo, para el autor, la más es la expuesta por Rodríguez Córdova (2005):

- 1- Por su efecto (relación causa – efecto)
- 2- Por la interrelación de acciones
- 3- Por su carácter
- 4- Por la intensidad del impacto
- 5- Por la extensión del impacto
- 6- Por el momento en que se manifiesta
- 7- Por su persistencia
- 8- Por su capacidad de recuperación
- 9- Por su periodicidad
- 10- Por la necesidad de aplicación de medidas correctoras

Se cuenta con metodologías para el estudio de impacto ambiental que precisan distintos estadios en su ejecución como: identificación, predicción y valoración de impactos según el alcance de los trabajos.

#### Metodologías de identificación

- Descripción del sistema ambiental existente
- Definición de las alternativas del medio, causadas por el proyecto
- Determinación de los componentes del proyecto

#### Metodologías de predicción

- Identificación de las alteraciones ambientales significativas
- Revisión del cambio cuantitativo y/o espacial en el medio ambiente identificado
- Estimación de la probabilidad de que el impacto ocurra

#### Metodologías de valoración

- Determinación de la incidencia de costos y beneficios en los grupos de usuarios y en la población afectada por el proyecto
- Especificación y comparación de relaciones costo /beneficio entre varias alternativas

Al desarrollar un enfoque general para el pronóstico y evaluación de impactos ambientales surgen varias interrogantes que deben resolverse durante el proceso de planificación:

- ¿Existen suficientes modelos predictivos y datos específicos del sitio para apoyar una evaluación cuantitativa de los impactos ambientales?
- ¿Existe un umbral cuantitativo (un criterio o norma generalmente aceptados) que pueda usarse para distinguir los niveles significativos de impactos ambientales entre todos los niveles de impactos posibles?

- ¿Existen metodologías cuantitativas / estadísticas disponibles para describir objetivamente los niveles de impacto, o se utiliza la calificación subjetiva en una o más fases de la evaluación?
- ¿Existen evaluaciones anteriores para acciones similares?

Como métodos utilizados prevalecen la aplicación de las listas de chequeo, matrices de impacto mediante la matriz de Leopold, sistemas de red gráficos, proposiciones Ad hoc, modelaciones y método Batelle Columbus.

Para realizar estudios de impacto ambiental correspondientes a proyectos de obras o actividades de minería se tendrá en cuenta la Resolución 132/2009 del CITMA “Reglamento del proceso de evaluación de impacto ambiental”. La identificación de los impactos ambientales provocados por la actividad minera ayudará a la determinación de las acciones encaminadas a la rehabilitación integral del ecosistema en las tres dimensiones (económica, social y ambiental), en correspondencia con la consecución del desarrollo sostenible.

### **1.5 La rehabilitación minera en el desarrollo sostenible**

Para los países que desarrollan la explotación minera es una preocupación constante cómo integrar el concepto de desarrollo sostenible a esta actividad. Es por esto que la Ley 81/1997 de Medio Ambiente, define como Desarrollo Sostenible el proceso de elevación sostenida y equitativa de la calidad de vida de las personas, mediante el cual se procura el crecimiento económico y el mejoramiento social, en una combinación armónica con la protección del medio ambiente, de modo que se satisfacen las necesidades de las actuales generaciones, sin poner en riesgo la satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones.

Sobre la base del concepto anterior, en el mundo se han desarrollado acciones que permiten lograr una regeneración del medio ambiente después de la explotación minera a partir de alternativas que logren una **restauración, recuperación o rehabilitación** del ecosistema alterado.

Para Bradshaw (1997) citado por Montes de Oca Risco (2017) restauración implica devolver el ecosistema a su estado original, a un saludable o vigoroso estado.

Recuperación: Es más utilizado en medios técnicos que científicos, no implica la vuelta del sistema a su estado original, sino a otro adecuado y útil, es un término aplicado en las restauraciones mineras, de ingeniería civil, de zonas agrícolas. (Montes de Oca Risco, 2017)

Rehabilitación: Es el proceso de restablecimiento de un ecosistema cuando ha sido destruido o devastado por diferentes disturbios extremos, donde se restablece el relieve, la hidrología y el suelo, y se desarrolla de forma espontánea o asistida por el hombre la diversidad de especies de la flora y la fauna y se recuperan los procesos ecológicos vitales, de tal forma que el ecosistema resultante sea capaz de autosostenerse”.(Rodríguez Urbino, Díaz Martínez, & Sigarreta Vilches, 2016)

Para una mejor comprensión de estas tres categorías, se exponen experiencias internacionales en su utilización que fundamentarán la selección de la rehabilitación minera como expresión más avanzada del logro de la sostenibilidad del ecosistema.

La Asociación Nacional de Empresarios de Fabricantes de Áridos (ANEFA) (2006), aplica el Manual de restauración de explotaciones mineras donde se realiza una valoración ambiental de la minería e incluye las medidas de prevención a ejecutar antes del inicio de la explotación minera para prevenir, aminorar y corregir los futuros impactos, así como las medidas correctoras en la fase de abandono de la mina. Todos estos objetivos van encaminados a la restauración de la parte ecológica con prioridad en algunos elementos relacionados con el suelo. Se prioriza su acondicionamiento y tratamiento para su posterior utilización (la siembra), se logra la integración paisajística como reflejo de una restauración sostenible. Este manual no cuenta con indicadores que permitan la medición y monitoreo como un ciclo, ni se integran las tres dimensiones (económica, social y ambiental).

Programa de Desarrollo Sostenible para la Industria Minera del Departamento de Industria; Turismo y Recursos del Gobierno de Australia (2006) edita un manual para

la rehabilitación de minas, donde se presenta la parte esencial en el desarrollo de los recursos mineros de acuerdo con los principios *leading practice*. Afirma que la rehabilitación no puede ser un proceso considerado solo al cierre de la mina.

Este manual comprende el proceso de rehabilitación a lo largo de todas las fases evolutivas de una mina: planificación, operación y cierre. Los principios y prácticas de rehabilitación solo prestan atención a lo ecológico y ambiental sin comprender la integración que debe existir entre las dimensiones (económica, social y ambiental).

En el año 2008 se incrementa la preocupación de las degradaciones existentes por llevar a cabo la actividad minera. Muestra de ello es la realización del seminario “Evaluación y recuperación ambiental de espacios mineros. Pasivos Ambientales Mineros (PAM)”, organizado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), fue realizado en el Centro de Formación de la AECID en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. En este seminario se aborda cómo lograr el intercambio para alcanzar la recuperación de las áreas degradadas y abandonadas por la minería.

La variedad de criterios sobre esta temática originó que un año más tarde en octubre de 2009, se celebrara la segunda edición del seminario con la propuesta de un modelo para el tratamiento de los Pasivos Ambientales Mineros.

La propuesta metodológica de estos autores no incluye los escenarios de peligro que tienen estas minas abandonadas o paralizadas y su efecto sobre las personas y el medio ambiente, ni tienen en cuenta las tareas a ejecutar para realizar una correcta rehabilitación. Introduce el concepto de Pasivos Ambientales Mineros (PAM) para elementos como: instalaciones, edificaciones, superficies afectadas por vertidos y depósitos de residuos mineros, tramos de cauces perturbados, talleres, parques de maquinaria o acumulaciones de mineral en el entorno de minas abandonadas o paralizadas, que constituyen un riesgo potencial para la salud y seguridad de la población, para la biodiversidad y para el medio ambiente.(ASGMI, 2008)

En Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2012) elabora un plan de restauración que tiene como objetivo orientar y promover la restauración ecológica, la recuperación y la rehabilitación de áreas disturbadas, que conlleven a la

distribución equitativa de beneficios, a la conservación de la diversidad biológica y a la sostenibilidad y mantenimiento de bienes y servicios ambientales, en un marco de adaptación a los cambios globales, pero la misma establece la planificación de rehabilitación en el proyecto de post-explotación y también le falta la forma de medir las acciones propuestas en cada una de las fases.

En Perú, la Dirección de Asuntos Ambientales Mineros 2010 propuso una guía para la elaboración de planes de cierre de pasivos ambientales mineros, esta presenta un formato estándar para la preparación de los planes de cierre y requiere de un proyecto detallado a nivel de factibilidad que incluye la estimación de costos, así como las actividades de rehabilitación. Después del desmantelamiento y rehabilitación del área de los pasivos ambientales, se requieren informes semestrales de mantenimiento, monitoreo y seguimiento post-cierre. A pesar de establecer y describir como premisas todas estas actividades, no se expone el cómo hacerlas ni se tiene en cuenta los minerales no metálicos. (Fuentes Sardiña, 2013)

Estos países, aunque presentan diferentes formas de contrarrestar las degradaciones en los espacios afectados por la minería presentan insuficiencias, pues solo planifican la rehabilitación una vez concluida la actividad económica y encaminan el restablecimiento ambiental sin la comprensión de la interrelación existente entre lo económico, lo social y lo ambiental. Cuba no está ajena al estudio de esta problemática. Se hace necesario comprender que la rehabilitación es un proceso cuya realización debe corresponderse, a partir de que se incide en el ecosistema, mediante la prospección y explotación del yacimiento.

### **1.5.1 La rehabilitación minera en los yacimientos lateríticos en Cuba**

La explotación de los yacimientos lateríticos en Cuba ha provocado grandes degradaciones al medio ambiente, por realizarse a cielo abierto y afecta al medio físico (geología, geomorfología, hidrología, suelos, clima, aire), a la biótica (flora y fauna), al paisaje, relaciones ecológicas y al medio socioeconómico (demografía, socio-economía, servicios, infraestructura, transporte, recursos culturales, financiamiento de proyectos) del ecosistema donde se encuentran enclavados,

afectándose miles de hectáreas de terreno, muchas se encuentran en proceso de rehabilitación por la intervención del hombre. Varios autores han tratado el tema desde su ciencia:

Herrero Echevarría et al. (2009), señala los impactos negativos generados durante el proceso de explotación de los yacimientos lateríticos de Nicaro y Mayarí, ofrecen resultados experimentales, donde la primera opción de uso de los terrenos afectados es forestal, principalmente con la casuarina como formadora de suelo. No se analizan otras formas de uso de los terrenos afectados, estos pueden ser utilizados para diferentes fines según la capacidad del suelo y las necesidades económicas y sociales de la región.

Urbino and Díaz (2011), presenta una tecnología de rehabilitación ecológica de áreas degradadas por la minería a cielo abierto para regiones de alto valor de endemismo en la biodiversidad, lo que consideran la tecnología como un proceso con un fin principal que permitan mitigar los impactos negativos de la actividad minera a cielo abierto, por eso solo incorporan indicadores ecológicos de las áreas dañadas, que imposibilita realizar una evaluación exhaustiva del entorno en su generalidad.

García et al. (2011), a partir de un diagnóstico integral en las empresas níquelíferas sobre el estado de la rehabilitación en la zona, logra identificar un gran número de deficiencias (en el orden conceptual, naturaleza legal-administrativo y práctico-operativo) que conspiran contra el desarrollo exitoso de la rehabilitación. En el orden conceptual no existe instructivo, manual o carta tecnológica vigente que recoja las condiciones que debe tener un área que ha sido objeto de acciones de rehabilitación para encontrarse rehabilitada y enfrentar exitosamente el nuevo uso al cual se va a destinar.

En el orden de la naturaleza legal-administrativa no existe un procedimiento legal, que utilicen las empresas mineras, que regule de forma clara el proceso de devolución de las áreas ya rehabilitadas, la actividad contractual de las empresas carece de rigor en cuanto a definir claramente los parámetros de calidad que deben cumplir las diferentes acciones de rehabilitación contratada a terceros, el deterioro

acelerado de instalaciones, obras de fábrica y caminos en las áreas minadas o en las minas en fase de cierre.

De orden práctico-operativo las acciones de rehabilitación, por lo general, no se han llevado a cabo inmediatamente después del minado, la conformación del terreno no ha sido la adecuada o simplemente no se ha realizado, es reducido el número de áreas como espejos de agua y sedimentadores, no se toman medidas antierosivas o las que se realizan no tienen siempre la efectividad deseada por no adecuarse a la magnitud y complejidad de las nuevas redes de escurrimiento superficial de carácter antrópico.

Todos estos aspectos constituyen errores cuantificables en la recuperación, hay que tenerlos en cuenta en el momento de ejecutar la rehabilitación en las diferentes zonas extractivas, porque este proceso no se tiene diseñado antes de la puesta en marcha de la explotación.

Chaviano Beitra et al. (2011), propone planificar la rehabilitación para las empresas minero-metalúrgicas de Moa desde el inicio de la explotación de los nuevos yacimientos y dirige el trabajo en dos fases: la preparación técnica del terreno y la recuperación biológica, sin tener en cuenta en el proyecto de explotación cómo se encontraba conformado el ecosistema integralmente para su posterior rehabilitación. La propuesta tiene como finalidad lograr la reforestación del lugar, al tener como experiencia los aspectos ecológicos y ambientales, pero no se logran resultados que favorezcan al entorno con la incorporación de las dimensiones económicas, sociales y ambientales.

La rehabilitación de áreas devastadas por la minería en la región nororiental de Cuba, se expone en la experiencia adquirida en el ecosistema en Pinares de Mayarí, donde se realizó el cierre de mina (2012): los caminos se cierran y el paso se dificulta por la densidad de la vegetación que crece en el sitio, casi nada recuerda la existencia de antiguos cotos mineros, todo ello espera obtenerse en las restantes minas todavía en explotación o cierre, a la luz de una ecotecnología de rehabilitación. (Bruzón Sánchez et al., 2012)

Rabilero (2013), elabora una metodología para rehabilitar desde el punto de vista biológico los terrenos explotados por la empresa Pedro Soto Alba. El mismo carece de un estudio preliminar para conocer las características y composición con que cuenta el ecosistema antes del proceso de explotación, para así efectuar una proyección hacia rehabilitación de los servicios ecosistémicos, al menos en su parcialidad.

Batista Martínez (2016) elabora una metodología utilizada para la rehabilitación minera en áreas degradadas o abandonadas por la explotación a cielo abierto, en la cual solo evalúa componentes o aspectos ecológicos que tiene como elemento de medición indicadores de la aclimatación de las especies plantadas, la efectividad de la plantación, la estructura ecológica del bosque, el coeficiente de sinantropismo, la contribución de los ecosistemas forestales a los servicios ambientales, la reducción del efecto invernadero y la estabilización de los cambios climáticos; sin embargo, no se incorporan las dimensiones económicas y sociales lo que imposibilita una buena gestión integrada por parte de las empresas.

Todas las investigaciones realizadas tienen dos puntos en común: la rehabilitación se debe hacer en áreas degradadas por la minería sin un trabajo previo a la explotación minera que permita precisar ex ante del ecosistema y como segundo, proponen que el uso final de los terrenos rehabilitados debe ser forestal, sin tener en cuenta otros usos futuros.

Ceproníquel, encargada de la elaboración de los proyectos mineros de las empresas niquelíferas, incluye en los mismos el plan de rehabilitación minera en los que deriva acciones encaminadas a la rehabilitación técnica y biológica, así como elementos a tener en cuenta en los aspectos de monitoreo como la supervivencia y desarrollo de las diferentes especies, la efectividad en la protección del suelo y tiempo en lograrlo, el proceso erosivo y la formación de cárcavas, la compatibilidad entre especies, la aparición de plagas y enfermedades, la influencia de la preparación técnica del terreno en los dos primeros aspectos y las atenciones de las cuencas hidrográficas y calidad de las aguas.

Estos proyectos aunque tienen los elementos de seguimiento y monitoreo por parte de la empresa, no evidencian cuáles son los indicadores a tener en cuenta para

lograr una mejor gestión en el ecosistema afectado y una armonización de las dimensiones (económica, social y ambiental).

Por esto la rehabilitación minera en Cuba es una preocupación de los investigadores de las diferentes ramas de las ciencias, pues cada año aumentan considerablemente los espacios degradados por la actividad minera, dañinos para el medio ambiente. El análisis realizado sobre las distintas definiciones de rehabilitación minera en los yacimientos níquelíferos fundamenta la necesidad de diseñar un procedimiento donde se integren las dimensiones económica, social y ambiental que contribuya a una rehabilitación minera que permita el máximo de recuperación de los ecosistemas afectados por la minería.

### **1.6 La gestión en el proceso de rehabilitación minera**

Es imprescindible conceptualizar el término gestión. La gestión son guías para orientar la acción, previsión, visualización y empleo de los recursos y esfuerzos a los fines que se desean alcanzar, la secuencia de actividades que habrán de realizarse para lograr objetivos y el tiempo requerido para efectuar cada una de sus partes y todos aquellos eventos involucrados en su consecución. (Benavides Gaibor, 2011)

Por lo tanto, la gestión es el proceso a través del cual se realiza un conjunto de actividades, mecanismos y acciones e instrumentos que permita la ejecución del objetivo que se desea ejecutar.

En la relación empresa-medio ambiente es necesario tener en cuenta el enfoque multidimensional ambiental, económico y social para lograr la gestión ambiental. La empresa como agente económico desempeña un papel protagónico en la búsqueda y aporte de soluciones económicas a los problemas ambientales. Para la empresa, el medio ambiente constituye, además del sustrato biofísico de la actividad económica, la fuente de obtención de beneficios. La calidad de la interacción empresa-medio ambiente demuestra los criterios de preservación ambiental en los procesos de decisión económica.

Entre las responsabilidades de la empresa además de maximizarse los beneficios, se deberán: disminuir o eliminar los residuos que son perjudiciales para el medio ambiente, minimizar los riesgos ambientales generados por su actividad, reducir el consumo de recursos naturales, priorizar la utilización de recursos renovables como materias primas y materiales, racionalizar el uso de los recursos no renovables y proyectar estrategias de conservación que conlleven a la sustentabilidad, destinar recursos financieros que permitan restaurar y preservar el entorno donde opera, invertir en tecnologías limpias y minimizar los impactos sociales negativos de la actividad productiva (Morales M, 2011).

Todo lo anterior explica la importancia de diseñar sistemas de indicadores que aporten información económica para elevar la calidad de la gestión ambiental empresarial en la utilización correcta de los recursos naturales utilizados en el proceso de producción.

La minería de níquel es una actividad económica con alta responsabilidad empresarial, donde los dirigentes administrativos desempeñan un papel fundamental en la gestión ambiental. La eficiencia de esta tarea no reside en medir las consecuencias económicas de las afectaciones ambientales, sino en la labor preventiva que permite desarrollar una minería ambientalmente responsable y rentable.

Para lograr la consecución de la gestión en el proceso de rehabilitación minera es necesario la conducción, dirección, control y administración a través de determinados instrumentos, reglamentos, normas, financiamiento y disposiciones institucionales y jurídicas.

Es indispensable analizar el espectro que abarca la gestión en la rehabilitación minera y por ello se hace necesario precisar la integración entre la gestión económica y socio-ambiental.

La gestión dirigida a lograr la recuperación de un ecosistema impactado no sólo está relacionada con las afectaciones económicas que se producen en los bienes y

servicios que el ecosistema brinda, sino en la inversión que se requiere en el proceso de rehabilitación del mismo. También se incide en el medio ambiente lo que provoca afectaciones en factores ambientales como: la geología, geomorfología, hidrología, suelo, clima, aire, flora, fauna, paisaje relaciones ecológicas y el medio socioeconómico.

Es preciso analizar las implicaciones que se producen en el orden social derivados de los impactos endógenos y exógenos a partir de la prospección y posterior explotación de los yacimientos níquelíferos, que esta investigación aborda.

Lograr una adecuada gestión en el proceso de rehabilitación minera requiere de la caracterización plena del ecosistema que se verá afectado. Es importante reiterar la necesidad de conocer el ex ante que caracteriza el ecosistema y para ello se precisa conocer el medio físico, la biota y el medio socioeconómico, para definir posteriormente el nivel de impacto provocados y así objetivizar la gestión para su recuperación.

En correspondencia con lo analizado, resulta razonable establecer un procedimiento para lograr la consecución de la gestión económica y socio-ambiental en el proceso de la rehabilitación minera lo cual permitirá una mayor eficiencia en la recuperación funcional del ecosistema impactado.

### **Conclusiones parciales**

El análisis de los diferentes conocimientos universales, los aportes teóricos y conceptuales realizados en la tesis, permitió desarrollar una perspectiva teórica y metodológica de la necesaria incorporación de la gestión económica y socio-ambiental para garantizar el éxito del proceso de rehabilitación minera.

En la actualidad, la rehabilitación minera no incorpora las dimensiones económica, social y ambiental como un sistema integrador; de ahí la necesidad de aplicar diversos campos de la ciencia en aras de lograr una valoración con un enfoque sistémico y sostenible, que viabilice la adecuada toma de decisiones y minimice la

afectación del ecosistema, del entorno laboral y social durante el proceso de explotación.

En correspondencia a lo apreciado en el contenido del capítulo se hace necesario elaborar un procedimiento, que, mediante indicadores, permita la consecución e integración de las tres dimensiones señaladas.

## **CAPÍTULO II PROCEDIMIENTO PARA LA GESTIÓN ECONÓMICA Y SOCIO-AMBIENTAL EN LA REHABILITACIÓN MINERA**

### **Introducción**

El presente capítulo tiene como finalidad aportar una solución al problema científico planteado, pues en el estudio de los fundamentos teóricos se observaron brechas hacia las que se debe dirigir el trabajo de la rehabilitación minera, por lo cual se elabora un procedimiento de gestión económica y socio-ambiental en la rehabilitación.

El procedimiento se fundamenta en la integración de las dimensiones económica, social y ambiental como una herramienta esencial para lograr interdisciplinariedad entre las ciencias económicas, ecológicas y sociales. Al proceso de rehabilitación minera se incorporan indicadores que favorezcan la cuantificación de los impactos ambientales causados por la actividad minera, así como la valoración económica y socio-ambiental en un ex-ante, durante y después.

### **2.1 Nociones teóricas del procedimiento de gestión económica y socio-ambiental en la rehabilitación minera**

El procedimiento tiene como finalidad establecer una nueva concepción teórico – metodológica que permita ejecutar eficientemente la rehabilitación de áreas afectadas por la explotación minera y contempla las etapas y pasos para su consecución.

La Figura 2.1 muestra el procedimiento para la gestión económica y socio-ambiental en la rehabilitación minera. El cual muestra de izquierda a derecha las ocho etapas lógicas, los 16 pasos que darán respuesta a cada una de las etapas y los métodos y técnicas sugeridos para su desarrollo.

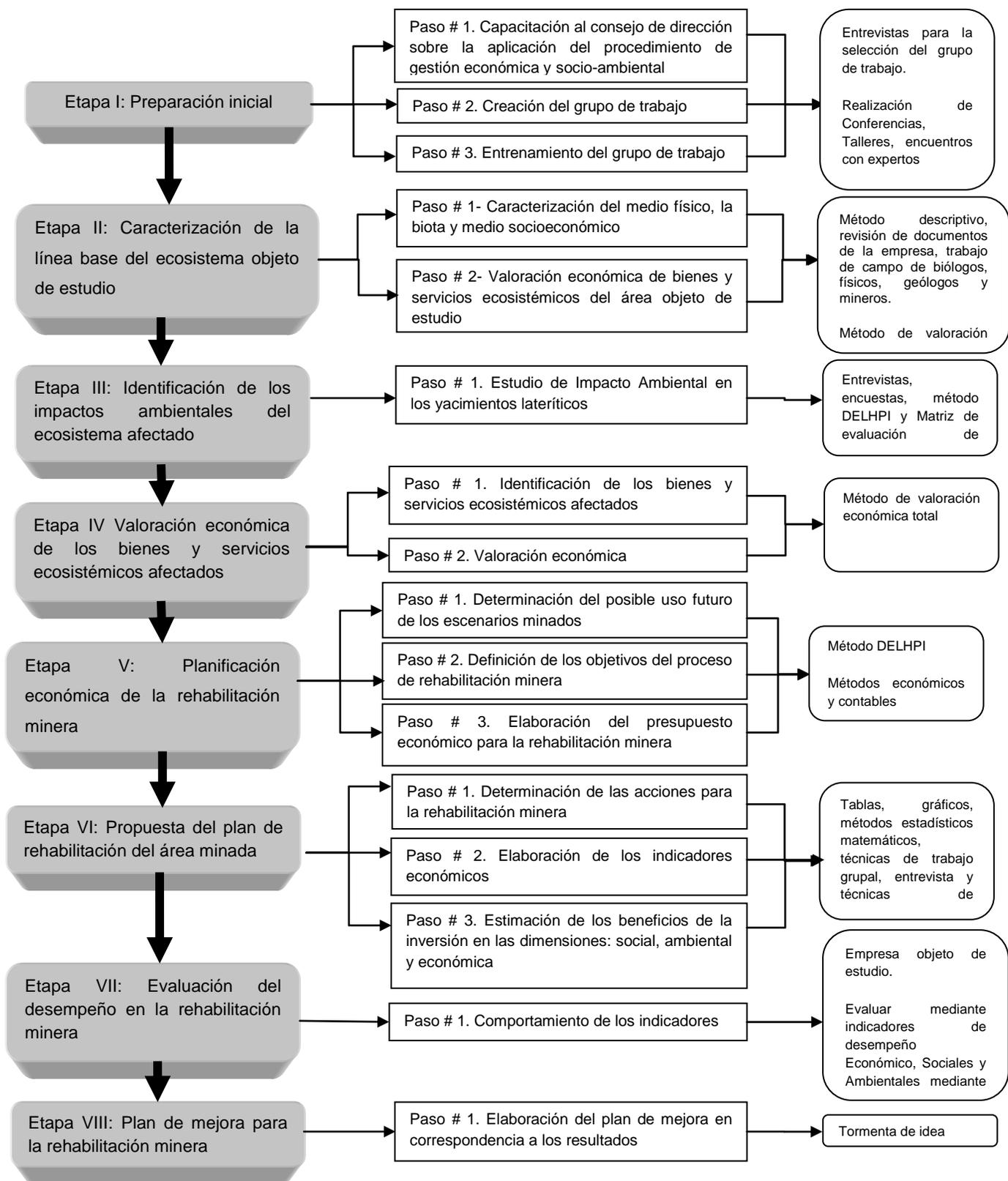


Figura # 2.1 Procedimiento para la gestión económica y socio-ambiental en la rehabilitación minera

Para la confección de cualquier proyecto de explotación minera se debe tener en cuenta la rehabilitación, no como un elemento aislado, pues debe ser proyectada desde sus inicios como una de las principales vías de resarcir los daños provocados al medio ambiente por la actividad económica. El procedimiento elaborado permitirá que la rehabilitación se tenga en cuenta en todas las fases de la explotación minera, con el objetivo de lograr la recuperación del ecosistema mediante las dimensiones del desarrollo sostenible.

## **2.2 Análisis de las distintas etapas y pasos**

A continuación, se realiza una explicación detallada y cronológica de las etapas y pasos que integran el procedimiento propuesto.

### **2.2.1 Etapa I: Preparación inicial**

La etapa tiene como objetivo esencial dar a conocer al consejo técnico de la mina, en la empresa escogida, los requisitos que se deben tener en cuenta para lograr la implementación del procedimiento para la gestión económica y socio-ambiental en la rehabilitación minera.

#### **Paso # 1. Capacitación al consejo de dirección sobre la aplicación del procedimiento de gestión económica y socio-ambiental**

En este primer paso se capacita al consejo técnico de la mina (Anexo 1) sobre la investigación: cuál es la situación problemática identificada en la empresa y el problema científico elaborado, la novedad científica y los impactos económicos, sociales y ambientales que se analizarán durante la investigación. También se le dará a conocer sobre el estudio teórico realizado, cuáles son las principales limitaciones que se aprecian en el campo de acción tratado, lo que fundamenta el diseño del procedimiento propuesto.

Posteriormente se expondrá cada una de las etapas y pasos que integran el procedimiento para la gestión económica y socio-ambiental en la rehabilitación minera, el que permitirá alcanzar un desarrollo sostenible en el ecosistema de las

áreas explotadas, según los objetivos trazados a corto, mediano y largo plazo. Se le dará a conocer cuáles son las características y componentes del ecosistema para llevar a cabo la implementación del procedimiento.

### Paso # 2 Creación del grupo de trabajo

En este paso, se constituye el grupo de trabajo multidisciplinario, responsables de dar cumplimiento a la implementación del procedimiento y el desarrollo exitoso de las ocho etapas y pasos propuestos.

Este grupo deberá estar representado por expertos que mantengan un alto grado de conocimiento en el proceso de rehabilitación minera, se integren las diferentes especialidades como la Minería, Geología, Biología o Microbiología, Química, Forestal, y Economía, así como especialistas que trabajan directamente en el departamento e implementan esta tarea, el departamento del CITMA y algún directivo del consejo técnico, el mismo viabilizará cada una de las etapas y pasos.

### Paso # 3. Entrenamiento del grupo de trabajo

Una vez constituido el grupo de trabajo multidisciplinario se procederá a implementar el cronograma propuesto para la superación de sus miembros. Se realizará mediante conferencias, talleres y encuentros con expertos donde se exponen las principales experiencias en el ámbito nacional e internacional en materia de rehabilitación minera; se efectuará un entrenamiento que tendrá como objetivo lograr la implementación del procedimiento en el área escogida, donde se aplique cada una de las etapas y pasos correspondientes.

#### **2.2.2 Etapa II: Caracterización de la línea base del ecosistema objeto de estudio**

Esta etapa es la que permitirá al investigador o empresa en cuestión realizar el estudio del ex-antes de la explotación y lograr un diagnóstico exhaustivo de los componentes que integran el ecosistema para su posterior cuantificación.

## Paso # 1. Caracterización del medio físico, la biota y el medio socioeconómico

Al tener en cuenta el deterioro que presenta el ecosistema donde se realiza la explotación minera se deberá realizar una caracterización del medio, en todos sus componentes, según plantea (Rodríguez Córdova, 2005) en su libro Evaluación de impacto ambiental.

En la caracterización del medio físico se deberá tener en cuenta:

### **Geología**

- Litología, tipos de rocas, formación a la que pertenece, estructura tectónica, historia geológica, condiciones sísmicas e historiales, características geotectónicas y depósitos minerales, grado de estudio y reservas.

### **Geomorfología**

- Relieve, incluyendo el análisis de pendientes según rangos y su distribución porcentual, unidades geomorfológicas, balance geomorfodinámico y características hidrológicas.

### **Suelos**

- Caracterización de los suelos y su clasificación, uso potencial. Estructura y composición química, física y biológica. Descripción del perfil del suelo. La superficie utilizada en las distintas actividades (agrícola, industrial). Las tierras fértiles y su afectación. Posibles impactos, nuevas actividades que van a generar pérdidas de rentabilidad de tierras fértiles; si existen pérdidas por el cambio del uso del suelo.

### **Clima**

- Descripción regional y local del clima, tomando como base una serie climática no menor de 30 años, que incluya máximos, mínimos y medios y su distribución espacio temporal donde se analice, temperatura del aire,

precipitaciones (frecuencia, días con lluvia, intensidad duración y distribución), humedad relativa evaporación, insolación, evapotransporación y vientos ( dirección y velocidad preponderante)

- Frecuencia de ocurrencia e intensidad de tornados, huracanes y tormentas severas, áreas potencialmente inundables por eventos lluviosos extremos.
- Factores modificadores del clima en especial los que inciden en los cambios globales.

### **Aire**

- Descripción de la calidad del aire, concentraciones de los principales contaminantes.
- Inventario de las fuentes contaminantes gaseosas, líquidas o de aportes de sedimentos, incluyendo los malos olores.
- Relación entre las condiciones meteorológicas y la calidad del aire en la zona de influencia del proyecto.
- Contaminación por ruidos y vibraciones.

### **Agua**

- Manejo territorial del recurso agua.
- Aguas superficiales: inventario y caracterización hidrológica, incluyendo calidad de las masas de aguas cercanas o que pudieran ser afectadas por el proyecto.
- Subterráneas: inventario y caracterización de los acuíferos de la zona que pudieran ser afectados en relación con la extracción y recarga.
- Calidad del agua: determinación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

En la caracterización de la biota se analizará la:

### **Vegetación y Recursos forestales**

- Determinación, caracterización y mapeo de los tipos de vegetación y formaciones vegetales, terrestres, acuáticas y marinas. Grado de conservación.
- Análisis dasométrico y sobre lotes y rodales de las poblaciones de especies forestales.
- Localización de especies raras, endémicas o en peligro de extinción, de valor comercial y susceptibles de aprovechamiento.
- Análisis de la biomasa y productividad de las especies dominantes.
- Presencia de ecosistemas frágiles o de alta vulnerabilidad. Áreas protegidas, límites y categorías de manejo.

### **Fauna**

- Inventario y distribución de la fauna terrestre, acuática y marina.
- Localización de los sitios tróficos de importancia para las especies.
- Estado y grado de conservación de las especies.
- Localización de especies raras, endémicas o en peligro de extinción, de valor comercial, deportivo y ornamental.
- Asociación de los hábitats de la fauna con determinados ecosistemas.
- Migraciones o movimientos de las especies de importancia. Potencial del recurso (pesquerías, domésticos o silvestres), problemas de cacería furtiva.

### **Relaciones ecológicas**

- Áreas de sensibilidad ambiental altas limitaciones que estas ofrecen al proyecto.
- Determinación de la estabilidad de los ecosistemas.
- Identificación de las cadenas tróficas. Ecología de vectores.
- Ciclos bioquímicos.
- Determinación de procesos de interdependencia tales como clima-Vegetación-suelo, clima-relieve-vegetación.

En el medio socioeconómico se estudiará la:

### **Población**

- Demografía: características de la población según el último censo y tendencias de la evolución de la región en el futuro previsible teniendo en cuenta un rango de edades, sexo, composición clasista, nivel de ingreso entre otros.
- Población económicamente activa, nivel de empleo, porcentaje de ocupación según la actividad económica y tendencia.
- Asentamientos poblacionales, estado de la vivienda.
- Cantidad relativa de la población con acceso a saneamiento básico (manejo de desechos sólidos y líquidos, desinfectación del agua, trabajo con vectores).
- Disponibilidad de viviendas y su estado.
- Cantidad de núcleos familiares por vivienda.
- Hacinamiento habitacional y barrios marginales.

### **Salud**

- Niveles y tipos de enfermedades en base a las tasas de morbilidad y mortalidad.
- Distribución geográfica.
- Servicios de salud.
- Cantidad relativa de la población con servicio de salud. Tipos.
- Accidentes de trabajo.
- Niveles actuales de lesiones y muertes asociadas con accidentes de transporte.
- Infestación por vectores.

### **Economía**

- Caracterización de la economía y la estructura económica estableciendo diferencias según el tipo de propiedad. Actividades y encadenamientos. Volumen de producción.
- Uso y tenencia de la tierra en las áreas ocupadas por el proyecto. Ubicación de centros poblados, áreas de recreación, áreas de valor histórico y arqueológico, etc.
- Infraestructura: disponibilidad de servicios comunales, educación, salud, energía y sus fuentes, turismo y recreación, cultura, agua potable, disposición de residuales líquidos y sólidos. Vialidad y transporte.

### **Cultura**

- Patrimonio natural y cultural. Arquitectura actual. Monumentos y áreas protegidas.
- Áreas de valor histórico y arqueológico.

Para hacer posible este paso deben ser empleados los métodos descriptivos, y utilizar los proyectos de explotación minera diseñados por la empresa encargada de llevar a cabo los proyectos mineros; para realizar el trabajo de campo, el equipo debe contar con la ayuda de biólogos, químicos, físicos, geólogos, mineros, hidráulicos y economistas. Se tendrá en cuenta a especialistas de prestigio en la actividad y los expertos del grupo de medio ambiente de la empresa.

### Paso # 2. Valoración económica de bienes y servicios ecosistémicos del área que va a ser objeto de explotación

Para incorporar el capital natural del yacimiento en estudio a la contabilidad de la empresa, se deben determinar los bienes y servicios ambientales que brinda el ecosistema (el ex-ante de su explotación); cuáles son los valores de uso directo o los valores de no uso indirectos que facilitará la aplicación de la guía metodológica para la valoración económica de bienes y servicios ecosistémicos (BSE) y daños ambientales, confeccionada por los autores Dra. Gloria de las M. Gómez País. Dirección de Medio Ambiente, CITMA; Dr. Carlos Gómez Gutiérrez. INSTEC, Mes y MSc. Raúl Rangel Cura. Instituto de Geografía Tropical, CITMA en el año 2015.

Después de determinar los bienes y servicios ambientales se procede a la aplicación del método de valoración económico-ambiental donde se utiliza la fórmula de Valor Económico Total que permite conocer cuantitativamente el valor de los bienes y servicios ecosistémicos y para ello se deben conocer algunas definiciones.

La valoración económica total (VET) se realiza en correspondencia con las funciones que desempeña el ecosistema y que son declarados los tipos de usos, por los distintos usuarios de estos ecosistemas, para estimar su valor de uso y de no uso. La ventaja de esta clasificación radica en que evita cualquier problema de doble contabilidad porque solo valoriza los beneficios finales.

Por tanto, el VET no es más que la suma de los estimados económicos de los valores de uso (valor de uso directo, valor de uso indirecto y valor de opción) y los valores de no uso (valor de existencia), o sea:

**Valor Económico Total = Valor de Uso directo (VUD)+ Valor de uso indirecto (VUI) + Valor opción + Valor de existencia** (Gómez Pais, G. d. I. M., Gómez Gutiérrez, C., & Rangel Cura, R, 2015)

**Valor de uso directo:** incluye a los bienes y servicios de los ecosistemas, de los cuales el hombre puede beneficiarse de manera directa. Pueden formar parte de esta función productos asociados a actividades comerciales y no comerciales. En el primer caso se incluyen todos aquellos productos y servicios provenientes del ecosistema que son comercializados tales como la extracción de madera, productos de la pesca, recreación y turismo, entre otros.

En general el valor de dichos productos y servicios son de fácil determinación ya que existe un mercado definido para los mismos, aunque los precios no siempre sean los adecuados. En el segundo caso se incluyen todos aquellos productos destinados a la subsistencia de la población local y que no pasan por el mercado: alimento, agua, energía, materiales para vivienda, otros. En este caso el valor económico de los mismos resulta más difícil de medir, razón por la cual, y con mucha frecuencia, estos productos no mercantiles no son incluidos ni tenidos en cuenta en las decisiones de desarrollo.

**Valor de uso indirecto:** está representado por servicios ambientales que brinda el ecosistema. Desde el punto de vista puramente económico la tarea consiste en la determinación de un estimado económico de dichos servicios, partiendo de la base de que los mismos no poseen precio en el mercado y no son comercializables. Existen dos alternativas posibles para ello. La primera se basa en el hecho de que generalmente protegen o soportan actividades económicas que sí tienen valores medibles directamente, por lo que resulta posible inferir el valor de los mismos. La segunda vía está condicionada por el hecho de que en el mercado podrían existir sustitutos perfectos con lo que podría inferirse el valor de ellos.

**Valor de opción:** representa potencialmente el posible uso futuro del ecosistema ya sea de forma directa o indirecta. En tal caso se aplicaría cualquiera de las variantes anteriormente mencionadas a un posible valor de uso directo o indirecto, según corresponda.

**Valores de no uso:** están relacionados con el valor que encierra el ecosistema para el conocimiento futuro. Desde el punto de vista puramente económico esta función suele definirse como la disposición a pagar por la sociedad con el objetivo de preservar el recurso natural por el solo hecho de que éste exista dado el valor intrínseco que encierra. La biodiversidad es un ejemplo fehaciente de esta función, ya que refleja el valor de existencia, como hábitat crítico de especies incluso en peligro de extinción, así como el valor que encierra la misma desde el punto de vista de la información genética que contiene.

### **2.2.3 Etapa III: Identificación de los impactos ambientales del ecosistema afectado**

Esta etapa permitirá conocer, después de la caracterización del ecosistema en su medio físico, la biota y el medio socioeconómico, los impactos ambientales que serán producidos por la explotación minera, y cuantificar la repercusión económica en él.

#### Paso # 1 Estudio de Impacto Ambiental en los yacimientos lateríticos

Para dar cumplimiento a esta etapa se debe proceder a la identificación de los impactos ambientales provocados por la minería de níquel y se propone la aplicación del método Delphi.

El método Delphi es considerado uno de los métodos subjetivos de pronósticos más confiables y permite contar con la evolución estadística de opiniones de expertos o usuarios en el tema tratado.

La esencia del método Delphi está en la organización de una comunicación anónima entre expertos consultados individualmente, con el objetivo de obtener un consenso general. La confrontación de las opiniones se realiza mediante una sucesión de encuestas donde la información es sometida a un procesamiento estadístico.

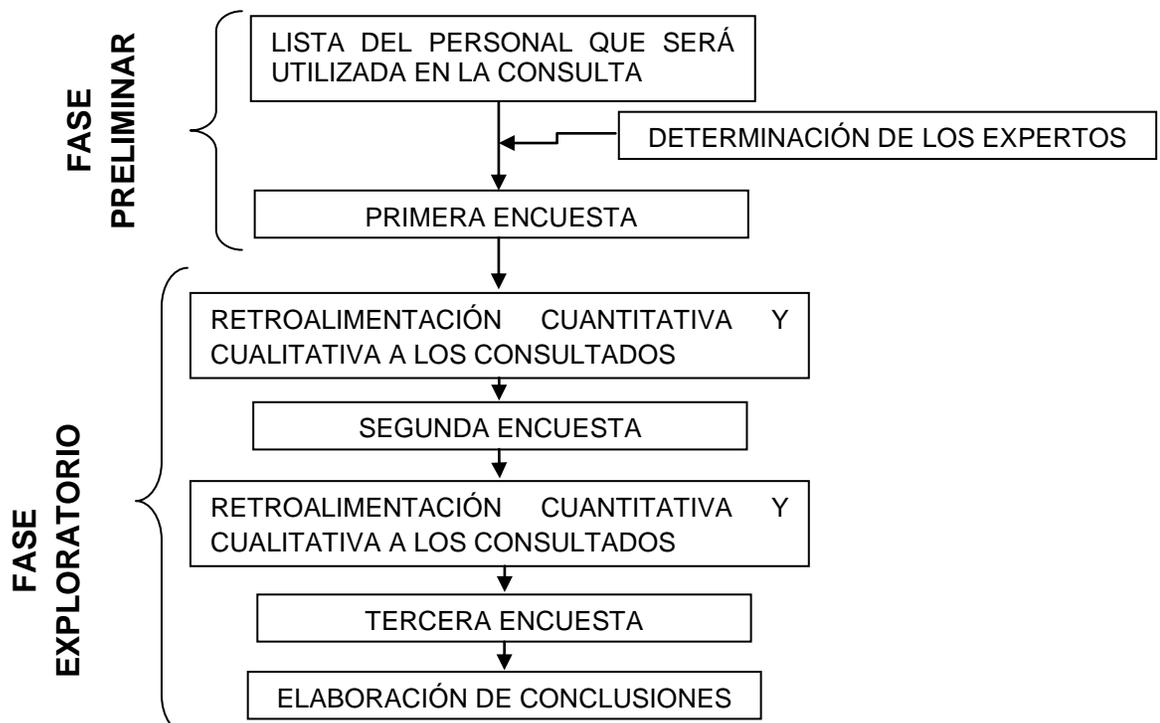


Figura # 2.2 Secuencia lógica del método Delphi Fuente: Procedimiento para la valoración económica y ambiental en la actividad minera de níquel. (Tesis Doctoral). Reynaldo Argüelles, C. L. (2013).

Fase preliminar: se determinan los expertos y se establecen los elementos básicos que serán sometidos a consulta. Posteriormente se aplica la primera ronda de la encuesta.

Fase exploratoria: se retroalimentan los expertos consultados

La aplicación del método debe considerar algunos aspectos metodológicos como la elaboración de las encuestas y la selección de expertos.

La elaboración de las encuestas debe cumplir con los principios de la teoría de la comunicación. La encuesta debe mostrar preguntas abiertas que permitan evidenciar la capacidad de valoración del tema al experto consultado. Esto constituye un elemento importante para derivar posteriores conclusiones sobre lo indagado y eliminar, incluir o cambiar la denominación de algún aspecto analizado. (Anexo 2)

El tamaño de una muestra representativa que reúna las características de la población de expertos para aplicar las encuestas, responde a la fórmula estadística:

Donde:

$$n = \frac{N}{1 + \frac{d^2 * (N-1)}{(Z_{\alpha/2})^2 p * q}}$$

$Z_{\alpha/2}$  = Valor de la tabla de la distribución normal con  $1-\alpha$  de confianza

p y q = Probabilidades  $p=0,50$  y  $q=0,50$   $p+q=1$

d = error máximo permisible

N = tamaño de la población o universo

El investigador es quien elige el margen de error con el que desea trabajar.

Selección de los expertos: se entiende por experto al individuo con conocimientos y competencias probadas para ofrecer valoraciones conclusivas de un problema y hacer recomendaciones útiles en su solución.

La competencia de los expertos se determina a través de una encuesta (Anexo 2). A los resultados de las preguntas 1, 2 y 3 de la encuesta se les aplica la fórmula:

$$K_{cm} = \frac{1}{2} (k_c + k_a)$$

Donde,

$K_{cm}$ : coeficiente de competencia

$k_c$ : coeficiente de conocimiento (Anexo 2 pregunta 1). Es la información que tiene el experto acerca del problema. Se calcula multiplicando por 0,1 el conocimiento que el propio experto manifiesta (en una escala de 0 a 10).

$k_a$ : coeficiente de argumentación. Está relacionado con las fuentes que le permiten argumentar sus criterios (Anexo 2 pregunta 2 y pregunta 3). El grado de influencia alto (A) tendrá valores entre 0,8 y 1; el grado de influencia medio (M) oscilará entre 0,5 y 0,8; el grado de influencia bajo (B) será evaluado de 0 a de 0,5. Los valores

serán promediados por grado de influencia y el valor mayor será utilizado en la fórmula para determinar el coeficiente de competencia.

Los expertos seleccionados serán aquellos que obtengan como coeficiente de competencia un valor igual o superior a 0,8: ( $K_{cm} > 0,8$ ) (Legrá Lobaina & Silva Diéguez, 2011)

Después de haber seleccionado los expertos se procede a realizar entrevistas y encuestas (Anexo 4) para determinar el total de los impactos ambientales que son producidos por la explotación minera.

Para efectuar la evaluación de los impactos ambientales es imprescindible conocer el proceso productivo o de servicios y así precisar las acciones que afecta al medio ambiente. Dichas acciones provocan impactos ambientales y estos incidirán en las variables que influyen de forma directa en el yacimiento a explotar como el medio físico (geológico, geomorfológico, hidrológico superficial y subterránea, suelo, clima, aire y ruido), en la biota (flora, fauna, relaciones ecológicas y paisaje) y socioeconómica (población, salud, economía y cultura) lo que permitirá, sobre la base de la información recopilada y la aplicación de métodos estadísticos Delphi, una evaluación de los impactos ambientales.

En la primera pregunta se deberá caracterizar las acciones que provocan impactos ambientales y posteriormente el estudio de los mismos, todos ellos caracterizados por: carácter del impacto, intensidad del impacto, extensión del impacto, sinergia, persistencia, efecto, momento del impacto, acumulación, recuperabilidad, reversibilidad, periodicidad e importancia del efecto de los impactos ambientales en la actividad minera, relacionada con los factores ambientales: geología, geomorfología, hidrología superficial y subterránea, suelo, clima, aire y ruidos, flora, fauna, relaciones ecológicas, paisaje, población, salud, economía y cultura, se evaluará muy relevante, relevante, poco relevante y no relevante. (Estudio de evaluación de impacto ambiental del yacimiento Camarioca Este en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, 2009)

En la segunda pregunta los expertos serán capaces, a partir de las acciones, de relacionar los impactos ambientales producidos por la actividad minera y su magnitud, al tener en cuenta los factores ambientales que se afectarán; en la tercera pregunta los expertos tendrán la posibilidad de listar los impactos ambientales no considerados en la encuesta o aquellos que deben ser eliminados.

Una vez aplicada la encuesta se procesa cada una de las preguntas y se valoran los impactos ambientales provocados por los proyectos mineros. A través de la técnica de tarjado se confecciona una tabla de doble entrada donde se refleje el total de respuestas por aspectos consultados. Una segunda tabla mostrará las acciones, los factores ambientales e impactos de mayor ponderación de acuerdo con las encuestas aplicadas. En esta etapa se aplicarán encuestas, entrevistas, el método Delphi y los resultados se expondrán mediante la matriz de impactos ambientales (Rodríguez Córdova, 2005) (Anexo 5) y su identificación permitirá realizar la valoración económica de los bienes y servicios ecosistémicos afectados.

#### **2.2.4 Etapa IV: Valoración económica de los bienes y servicios ecosistémicos afectados**

Para darle cumplimiento a esta etapa se deben determinar los bienes y servicios ecosistémicos afectados por la actividad minera en el momento de la explotación del yacimiento y los perjuicios provocados al ecosistema con su cuantificación.

##### Paso # 1 Identificación de los bienes y servicios ecosistémicos afectados

Para una buena identificación de los bienes y servicios ecosistémicos se deberá trabajar con los expertos seleccionados y el grupo multidisciplinario, los que identificarán los bienes y servicios del ecosistema escogido ante de la explotación del yacimiento. Se contará con una caracterización del área en cuanto al medio físico, la biota y el medio socioeconómico ya realizada en la etapa II y así como los impactos determinados en la etapa III, la que proporciona cuáles son los bienes y servicios ecosistémicos y el nivel de afectación.

Por tanto, los bienes y servicios ecosistémicos (BSE) son todos aquellos bienes y servicios del ecosistema identificado en el territorio, así como los daños ambientales provocados por eventos extremos y desastres, en dependencia de la magnitud y alcance de los daños, de los impactos sobre los componentes del medio natural: abióticos (suelo, aire y agua) y bióticos (flora y fauna) y su expresión en el ecosistema. (Rodríguez Córdova, Mir Frutos, & Guzmán Alberteris, 2018)

### Paso # 2 Valoración económica

Se utilizará la fórmula de valoración económica total explicada en la etapa II en su segundo paso, donde se tendrá en cuenta los valores de uso: directo e indirecto y los valores de no uso: opción y existencia. Para llevar a cabo esta etapa el grupo multidisciplinario procederá nuevamente a la aplicación de la Guía metodológica para la valoración económica de bienes y servicios ecosistémicos (BSE) y daños ambientales, confeccionada por los autores Dra. Gloria de las M. Gómez País. Dirección de Medio Ambiente, CITMA; Dr. Carlos Gómez Gutiérrez. INSTEC, Mes y MSc. Raúl Rangel Cura. Instituto de Geografía Tropical, CITMA en el año 2015.

### **2.2.5 Etapa V: Planificación económica de la rehabilitación minera**

El proceso de rehabilitación en áreas degradadas por la explotación minera, debe ser concebido simultáneo al proyecto de explotación del yacimiento minero, esto permite que, al concluir la explotación, se puedan implementar acciones correctoras al medio ambiente, y en poco tiempo lograr un ecosistema parcialmente rehabilitado, en cada hectárea.

Para llevar a cabo estas acciones se debe realizar la elección del tipo de rehabilitación y uso final a desarrollar, pues en el proceso de explotación esta decisión es compleja porque intervienen variables, tales como:

Tipo de explotación y sus características específicas

Entorno medioambiental y socioeconómico en el que se encuentra la explotación y el próximo yacimiento a explotar. En los que pueden distinguirse dos grupos de factores:

Geoecológicos (clima, geología, fauna, flora, hidrología y paisaje)

Culturales (demografía, economía e historia)

Los tipos de uso del suelo definidos por las distintas reglamentaciones confluyen en la organización de la zona en el territorio, lo que incluye los usos que preceden a la explotación. (Asociación Nacional de Empresarios de Fabricantes de Áridos (ANEFA), 2006)

#### Paso # 1 Determinación del posible uso futuro de los escenarios minados

La rehabilitación minera se debe tener en cuenta desde el mismo momento de la prospección, para el uso final de los terrenos una vez terminada la explotación del yacimiento, así como las limitaciones y potencialidades del entorno social, paisajístico y ecológico del territorio y las condiciones técnicas y económicas de la explotación minera.

El uso potencial de cada área se define como la capacidad natural que poseen las tierras para producir o mantener una cobertura vegetal. Esta capacidad natural se puede ver limitada por la presencia de procesos erosivos severos, por la profundidad efectiva, el grado de pendiente, las características químicas y físicas de cada suelo y los niveles freáticos fluctuantes. (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC, 1985)

En las prácticas nacionales e internacionales a las diferentes áreas degradadas por la explotación minera se les pueden dar diversos usos futuros: agrícola, forestal, hábitat natural, actividades recreativas, urbanismo, industrial o vertederos de residuos. Los de mayor empleo son forestal, agrícola y recreativo, este último busca establecer las relaciones con la vegetación para lograr un hábitat natural.

La Asociación Nacional de Empresarios de Fabricantes de Áridos (ANEFA) (2006) emite el Manual de restauración de minas a cielo abierto en Rioja, España donde expone los siguientes tipos de uso, con las características que debe tener cada uno y los aspectos necesarios a tener en cuenta: (Figura 2.3)

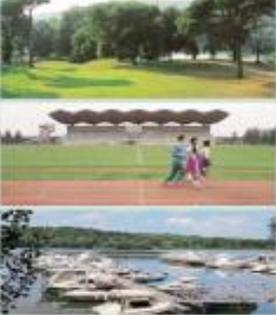
TIPO DE USO	CARACTERÍSTICAS	ASPECTOS NECESARIOS
<b>AGRÍCOLA</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plantación de frutales (almendros, olivos...)</li> <li>Cereales</li> <li>Vides</li> <li>Pastizales</li> <li>Farruajes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pendientes suaves</li> <li>Sistema de drenaje</li> <li>Suelo fértil bien reconstituido</li> <li>Tipo de cultivo adaptado a la disponibilidad de agua y a las características del suelo</li> </ul>
<b>FORESTAL</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plantación de árboles para la explotación de madera, incremento de la biodiversidad, lucha contra la erosión, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pendientes moderadas</li> <li>Suelo fértil bien reconstituido</li> <li>Sistema de drenaje</li> <li>Selección de especies</li> </ul>
<b>HÁBITAT NATURAL</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recuperación del entorno natural o creación de nuevo hábitat</li> <li>Reserva (flora y fauna)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suelo fértil bien reconstituido</li> <li>Selección de especies</li> <li>Modelado de orillas y hueco</li> </ul>
<b>ACTIVIDADES RECREATIVAS</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Senderismo</li> <li>Contacto con la naturaleza</li> <li>Observatorio de especies o área de interés geológico</li> <li>Escalada</li> <li>Caza</li> <li>Pesca</li> <li>Deportes náuticos</li> <li>Campos para la práctica deportiva (atletismo, tenis, fútbol, golf, motocross, ciclocross, etc.)</li> <li>Aeródromos</li> <li>Parque zoológico</li> <li>Jardín botánico</li> <li>Museo de la explotación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estabilidad de los taludes</li> <li>Buenas propiedades geotécnicas del suelo restaurado</li> <li>Accesos</li> <li>Proximidad a núcleos urbanos</li> <li>Medidas de seguridad para los usuarios</li> <li>Buen acondicionamiento del hueco (deportes náuticos)</li> </ul>
<b>URBANISMO</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Urbanizaciones</li> <li>Parques y zonas verdes</li> <li>Auditorios</li> <li>Iglesias</li> <li>Bodegas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pendientes suaves</li> <li>Buenas propiedades geotécnicas del suelo restaurado (cimentaciones)</li> <li>Accesos</li> <li>Proximidad a núcleos urbanos</li> <li>Medidas de seguridad para los usuarios</li> </ul>
<b>INDUSTRIAL</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suelo para establecimiento de polígonos industriales</li> <li>Aparcamientos</li> <li>Depósito de agua para consumo humano o riego</li> <li>Piscifactoría</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Infraestructuras (líneas eléctricas, alcantarillado, agua potable, carreteras de acceso, etc.)</li> <li>Buen acondicionamiento y sellado del hueco (vertederas, depósitos, piscifactoría)</li> </ul>
<b>VERTEDERO DE RESIDUOS</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vertedero de residuos</li> </ul>	

Figura # 2.3 Determinación del posible uso futuro de los escenarios minados

Según Montes de Oca Risco (2017) para determinar el uso final de las áreas degradadas por la explotación minera se deben tener en cuenta las exigencias y factores condicionantes.

### Agrícola

El uso agrícola es probablemente uno de los usos más utilizados en la recuperación de los terrenos afectados por las actividades mineras. Esto parece estar justificado, fundamentalmente por motivos económicos, en aquellas zonas donde el uso original era el agrícola. En cualquier caso, el establecimiento de la vegetación es más barato que en otros tipos de usos y la rentabilidad económica es mayor y más inmediata, pues compensa los gastos ocasionados en la recuperación.

Las excavaciones finales con una topografía suave, una gran extensión y que estén próximas a zonas cultivadas pueden destinarse a usos agrícolas, especialmente, cuando las operaciones mineras tienen una duración limitada y se ha tomado la precaución de conservar la tierra vegetal y el material de cobertura.

Esas tierras almacenadas son ricas en arcillas y en materia orgánica y, por tanto, aptas para constituir un medio óptimo para el aprovechamiento agrícola, una vez colocadas o extendidas sobre las plataformas creadas en las explotaciones. Debe garantizarse el drenaje de la zona recuperada y verificar que el nivel freático se encuentre a más de 50 cm por debajo de la superficie, donde las máquinas agrícolas trabajen adecuadamente. En caso contrario, será preciso efectuar un relleno con materiales rocosos, escombros inertes, arena, cenizas volantes y residuos de lavadero tras un análisis previo de sus propiedades edáficas para no contaminar el agua, y extender sobre ellos la capa de suelo recuperado.

Limitaciones:

- Químicas:
  - acidez/alcalinidad, nutrientes y toxicidad
- Físicas:
  - pedregosidad > 15%. Imposible el uso agrícola
  - pendiente < 15° pastizal
  - pendiente < 5° cultivos arables
  - disponibilidad de agua
  - riesgo de erosión

- excavaciones grandes y poco profundas

### **Forestal**

Este tipo de uso en algunas ocasiones resulta más económico que el uso agrícola. Puede ser una buena alternativa en aquellas tierras de peor calidad donde no es posible llevarlo a cabo. No obstante, su rentabilidad es más baja y los resultados se obtienen a más largo plazo.

La reforestación se efectúa en superficies de cierta extensión (>0,25 ha) y puede ser utilizada en suelos de fertilidad media, en taludes con pendientes de hasta el 70% (35°) y en sitios pedregosos. Los pH bajos, la falta de nutrientes, el exceso de metales tóxicos y la compactación del sustrato pueden limitar su crecimiento.

Para repoblar forestalmente un terreno, es necesario suelos con características físicas para retener el agua que necesitan las especies arbóreas en el desarrollo de sus raíces; químicas y biológicas para disponer de elementos nutrientes y condiciones óptimas.

### **Hábitat natural**

La conservación se define como el manejo idóneo de un área y sus recursos naturales, con el fin de mantenerlos en el tiempo. Generalmente se aplica a aquellas áreas naturales que, por presentar características singulares en cuanto a geomorfología, suelos, riqueza biológica, nacimientos de agua, potencial turístico e investigativo, entre otros, deben conservarse. El parque natural es el método más común para el manejo de áreas de conservación, pueden ser complementados con otras categorías de manejo; una vez tomadas en conjunto, pueden suministrar a los planificadores un amplio marco de opciones legales y de gestión para la conservación y manejo de los recursos del territorio.

Por último, se puede contemplar este uso con una finalidad paisajística, y un componente visual muy importante que requiere un largo período de tiempo para su

establecimiento. Puede llegar a convertirse en un valioso recurso y permitir la combinación con otros usos.

### **Actividad recreativa**

En áreas urbanas y residenciales, los terrenos abandonados próximos a ellas, pueden ser adecuados para desarrollar diferentes actividades recreativas, especialmente para los jóvenes, siempre que se trate de terrenos secos. Es posible usarlos como parques de aventuras, circuitos para ciclismo, campos de fútbol, de tenis, instalaciones de tiro con pistola. Si se dispone de agua suficiente, podrán construirse estanques o lagos para practicar deportes como piragüismo, remo, natación.

En todos esos aprovechamientos, las áreas deben acondicionarse con la remodelación del terreno, se establecen los taludes y retira todo vestigio minero que pudiera dar lugar a accidentes. Muchas de estas actividades exigen el desarrollo de ciertas estructuras especiales para su funcionamiento, se tienen en cuenta las ventajas que conllevan a la planificación del uso a establecer, a priori de la actividad minera.

De igual modo, muchas de estas actividades exigen el desarrollo de estructuras especiales para su funcionamiento, por lo que se insiste de nuevo en las ventajas que conlleva una planificación del uso a implantar, a priori, de la actividad minera.

Las zonas de explotación ubicadas en áreas rurales tienen un potencial similar para un uso recreativo menos intensivo, especialmente si se encuentran situadas próximas a zonas naturales muy visitadas como un Parque Natural. Las especies a seleccionar deben ser de baja profundidad, normalmente de crecimiento lento y resistentes a las pisadas de las personas.

Algunos de los criterios a cumplir en estas áreas son:

- Estabilidad de los taludes
- Retiro de elementos que puedan dar lugar a accidentes

- El uso recreativo requiere grandes superficies, que pueden sobrepasar las 10 ha en muchos casos
- Localización cerca de núcleos urbanos y rurales

### **Uso urbanístico e industrial**

Las excavaciones realizadas en áreas urbanas o muy próximas a estas, pueden aprovecharse para construir zonas residenciales o comerciales. Las formas del terreno son, en muchos casos, ideales y se han llevado a cabo explanaciones que facilitan la construcción de edificaciones y la integración en el medio urbano.

Los factores condicionantes se derivan de la estabilidad de los taludes, del drenaje y de las propiedades geotécnicas de los terrenos para las cimentaciones. El área húmeda, el terreno blando o mal drenado, pueden imposibilitar su uso. Estas situaciones requieren un tratamiento adecuado del terreno para poder efectuar su uso:

- Estabilidad de los taludes y control de la erosión
- Estudio de propiedades geotécnicas de los terrenos para las cimentaciones
- Localización cerca de núcleos urbanos y rurales

### **Vertedero de residuos**

Como en muchas ocasiones, los yacimientos se encuentran próximos a áreas urbanas e industriales, un uso muy frecuente de los huecos finales de la excavación es el de depósito de basuras, escombros y residuos industriales sólidos.

El relleno habitualmente se realiza en áreas de pequeñas dimensiones de 0,3 a 1 ha, de reducir la superficie descubierta y poder proceder a la recuperación simultánea de otras zonas.

Este uso de los huecos de las minas abandonadas es el menos noble, porque pueden llegar a convertirse en puntos altamente desagradables y molestos si los vertidos se realizan de manera incontrolada, con emisión continua de humos, olores

e incluso de agua contaminadas. No obstante, es el uso más codiciado por algunas autoridades.

El vertido de esos residuos debe llevarse a cabo de forma completamente controlada, especialmente si no tienen las características de los residuos inertes. Se debe realizar un estudio inicial de las propiedades hidrogeológicas de las formaciones rocosas sobre las cuales se van a construir, las condiciones climatológicas y geográficas, las limitaciones socioeconómicas.

Cuando los residuos industriales están constituidos, en parte, por líquidos contaminantes, un requisito previo antes de su vertido es la realización de un estudio hidrogeológico y la ejecución de obras impermeabilizantes del hueco receptor.

Especial cuidado debe tenerse en aquellas situaciones donde se requiera el drenaje de las aguas de lluvia que hayan percolado sobre los depósitos y la colocación de dispositivos para la evacuación de los gases producidos durante los procesos de fermentación anaerobia.

Otra experiencia en la utilización de las áreas minadas se expone a continuación:

### **Depósitos de agua y abastecimiento**

Las excavaciones profundas en las extracciones de los yacimientos, pueden utilizarse como depósitos de almacenamiento de agua con diversos fines. El agua ya sea subterránea o superficial presenta la posibilidad de utilizarse en diversas actividades orientadas al aprovechamiento del recurso: consumo humano y doméstico, agropecuarias, preservación de flora y fauna, recreación y generación de energía eléctrica. (Montes de Oca Risco & Ulloa Carcassés, 2013)

Para la determinación del posible uso futuro de los escenarios minados se propone la matriz de competencia de uso, en función de los factores ambientales y culturales. En la validación se debe aplicar el método Delphi mediante la elaboración de una encuesta (Anexo 6) donde se facilite elementos básicos del ecosistema a los expertos, y permita determinar los factores ambiental y cultural que inciden en la

determinación del uso futuro que se le dará al área objeto de estudio, esta sería la primera fase.

En la segunda ronda de la investigación tiene lugar la discusión de los resultados en el uso futuro de los escenarios minados, se obtiene una tabla donde se establece la frecuencia absoluta y la frecuencia acumulada. Posteriormente se procede a la elaboración de la tabla de frecuencia relativa acumulada, donde se divide el valor de cada celda de la tabla entre el número de expertos consultados. El cociente de esta división se aproxima a las diez milésimas; además, la última columna se elimina, pues se trata de tres categorías y se buscan dos puntos de corte.

En este cuarto ronda se buscan las imágenes de cada uno de los valores de las celdas de la tabla anterior por la inversa de la curva normal.

Después de realizados todos los cálculos, se orientan en la tabla; pasa a comparar los resultados obtenidos en cada uno de los ítems consultados con los respectivos puntos de cortes para llegar a conclusiones sobre la categoría en que los expertos coincidieron en ubicar los ítems sometidos a su criterio.

Como parte de la tercera ronda con los expertos se someten los factores ambientales y culturales seleccionados a su criterio, los que se ordenan de mayor a menor, según corresponda.

Con las evaluaciones realizadas por cada experto, se determina el grado de concordancia de los expertos a través del coeficiente de Kendall (Ken) cuyo valor oscila entre 0 y 1. Se considera que cuando  $K > 0.7$  existe concordancia entre los expertos, cuando  $K < 0.4$  no existe concordancia y si  $K$  está entre 0.4 y 0.7 no se puede definir si existe o no concordancia entre los expertos, según la fórmula siguiente:

$$K = \frac{12 \sum_{i=1}^P (S_i - S_{med})^2}{M^2 (P^3 - P)}$$

Donde:

(P) Número de criterios que se valoran

(M) Cantidad de expertos encuestados

(Si) Suma de los valores asignados por los expertos a cada criterio i

(Smed) Valor medio con respecto al número de criterio P

Finalmente, para conocer los resultados de la prueba de hipótesis para el uso futuro de los escenarios minados, se debe realizar la prueba de significación con la que se determina la concordancia entre los criterios expresados por los expertos. Al respecto, se definen las siguientes hipótesis con un nivel de significación de 0,05:

Hipótesis nula: ( $H_0$ ): no existe consenso entre los expertos en relación con los criterios emitidos ( $K=0$ )

Hipótesis alternativa: ( $H_1$ ): los expertos están de acuerdo, hay consenso entre ellos ( $K \neq 0$ )

Criterio de decisión:

Si:  $x^2$  Calculada  $<$   $x^2$  Tabulada, entonces se acepta  $H_0$

Si:  $x^2$  Calculada  $>$   $x^2$  Tabulada, entonces se rechaza  $H_0$

De la tercera ronda se obtiene a K, lo que permite calcular

$$x^2 \text{ Calculada} = M (P-1) K$$

Finalmente, se determina que cuando el criterio es adecuado, tome los valores 1 y 2 y en algunos casos solo el valor 1 de la escala propuesta, mientras que si el criterio es inadecuado puede tomar los tres valores de la escala. (Montero Matos, 2018)

## Paso # 2 Definición de los objetivos del proceso de rehabilitación

En el proceso de rehabilitación se debe tener bien definido los objetivos, siempre listándolos por el orden de prioridad e importancia, para obtener una rehabilitación integral del terreno. Se deberá tener un objetivo general del proceso y los objetivos a corto, mediano y largo plazo. Este paso lo ejecutará el grupo multidisciplinario constituido en la primera etapa del procedimiento.

### Paso # 3 Elaboración del presupuesto económico para la rehabilitación minera

Para la elaboración del presupuesto se deben utilizar todas las técnicas económicas y contables existentes en el territorio nacional; se tiene en cuenta el presupuesto de años anteriores en materia de rehabilitación minera, el mercado en la adquisición de las semillas para la siembra de la especie seleccionada y otras tareas como la conformación y protección de los taludes, el mantenimiento a las plantaciones y la corrección de cárcavas.

### **2.2.6 Etapa VI: Propuesta del plan de la rehabilitación del área minada**

En esta etapa del procedimiento se proponen los momentos que integran el proceso de rehabilitación minera, de necesaria consideración para una futura definición del plan de acciones. Posteriormente aparece el diseño de indicadores económicos y la estimación de los beneficios, cuya aplicación permitirá evaluar las dimensiones económica, social y ambiental, armonizados en el plan de rehabilitación del área minada, para lograr un estadio superior en el proceso de rehabilitación minera.

### Paso # 1 Identificación de los momentos que integran el proceso de rehabilitación minera

La forma de rehabilitación de las áreas degradadas por la explotación minera, debe llevarse a cabo en los sectores donde se encuentran las degradaciones. Las zonas implicadas en el proceso de rehabilitación ambiental son las que se encuentran en explotación o ya ha concluido la extracción, donde se ha realizado excavaciones, explotaciones en bancos o taludes, áreas de depósitos de estériles y residuos, escombreras y en las vías de acceso y circulación al yacimiento a explotar.

En el análisis de los diferentes elementos que integran el proceso de rehabilitación se definen tres momentos:

1. Preparación técnica del terreno: ayuda a la conformación de terrazas de plataformas constantes que permite mitigar los procesos erosivos de las áreas afectadas por la minería, garantiza el aumento de la infiltración del agua en el suelo, la reducción de la escorrentía superficial, la disminución de la velocidad de las lluvias y la retención de los sedimentos transportados por el flujo hídrico.
2. La remediación del terreno: facilita diferentes técnicas de tratamiento para neutralizar, eliminar o transformar los elementos o sustancias contaminantes presente en el medio ambiente y así conseguir la estabilidad química.
3. La rehabilitación biológica y social del terreno: permite la selección y clasificación de las especies a utilizar en las áreas degradadas, facilita la recuperación biológica del suelo con inserción de casas artificiales e intercalamiento, la reducción y control de la erosión, la estabilización de terrenos inestables, la protección de los recursos hídricos y la integración paisajística de los ecosistemas. Al lograr las acciones previstas anteriormente permite mejorar la calidad de vida de la población colindante a los yacimientos explotados o en explotación.

### Paso # 2 Elaboración de los indicadores económicos

Para evaluar el proceso de rehabilitación minera deben diseñarse indicadores económicos como parte del sistema de información en la gestión económica, ambiental y social, lo que proporciona las herramientas para mejorar las decisiones empresariales y gubernamentales y permiten el seguimiento y control de la actuación del hombre en relación con el medio ambiente.

Según Reynaldo Arguelles (2013) los indicadores es una forma de proporcionar información a terceros, relacionada con la rehabilitación minera en toda la extensión del término, por lo que en su definición se requiere del cumplimiento de los requisitos cualitativos: relevancia, fiabilidad, medibilidad, verificabilidad, confiabilidad y seguridad.

El diseño de indicadores para la rehabilitación responde metodológicamente a una serie de criterios que normalizan su definición, determinan la eficacia de su empleo y la utilidad de la información proporcionada:

Nombre del indicador: se debe utilizar un nombre claro, conciso y asequible al usuario (cliente interno o externo) que defina exactamente lo que muestra el indicador.

Descripción corta del indicador: se debe realizar una descripción corta de lo que muestra el indicador, sobre todo cuando este recibe un nombre más bien científico o técnico.

Relevancia o pertinencia del indicador: se debe especificar la importancia del indicador propuesto en la valoración sobre el medio ambiente. Se necesita relacionar el contenido económico del indicador con los factores ambientales y sociales.

Gráfico o representación, con frase de tendencia: se debe elaborar una representación gráfica del indicador. A menudo se descubren errores y potencias no previstas desde el análisis de los gráficos.

Tendencia y desafíos: debajo del gráfico se puede elaborar un breve párrafo donde se transmita al usuario la tendencia y los desafíos que muestra el comportamiento del indicador.

Alcance (qué mide el indicador): se debe especificar las dinámicas que muestra el indicador.

Limitaciones (qué no mide el indicador): se deben aclarar las dimensiones y dinámicas que no pueden ser capturadas o vistas a partir del indicador.

Fórmula de cálculo del indicador: debe especificar las operaciones y procesamientos de las variables que son necesarios para obtener el valor del indicador y la unidad de medida.

Definición de las variables: cada variable que compone el indicador debe ser definida con detalle, de manera que no quede lugar para posibles interpretaciones erradas.

Para el diseño de los indicadores se realiza un trabajo con el grupo multidisciplinario, también efectúa entrevista a los especialistas del CITMA, de la Mina, la Empresa Agro-Forestal Municipal (Lineamientos de la Política Económica y Social del Estado y la Revolución) y la Empresa de Rehabilitación Minera del Níquel. Para conocer la

factibilidad de las acciones propuestas se utilizará la técnica de presupuesto de capital (Estudio de factibilidad). Los resultados se pueden exponer en tablas, gráficos o mediante métodos estadísticos que permiten mejor visualización.

Tabla 2. Indicadores económicos, sociales y ambientales para la rehabilitación minera

Etapas de la rehabilitación minera	Fórmula	Indicadores o Variables	U/M	Interpretación
	$Er = \frac{THR}{THE}$	ER: Eficacia en la rehabilitación THR: Total de hectáreas rehabilitadas THE: Total de hectáreas explotadas	U/%	Porcentaje de hectárea rehabilitada por cada hectárea explotada.
Preparación técnica del terreno	$Cct = \frac{THC - THPE}{THC}$	CCT: Calidad de la conformación del terreno THC: Total de hectáreas conformadas THPE: Total de hectáreas con proceso erosivo	U/%	Porcentaje de hectáreas conformadas con relación a las erosionadas
	$Cst = \frac{TTE}{TTS}$	CST: Calidad de la salud del trabajador TTE: Total de trabajadores enfermos por inadecuadas	U/%	Porcentaje de trabajadores enfermos debido a las condiciones inadecuadas de trabajo en relación

		condiciones de trabajo TTS: Total de trabajadores		con el total de trabajadores sanos vinculados al área objeto de estudio
	Teera= $\frac{NCERA}{TCER}$	TEERA: Tasa específica de enfermedades respiratorias agudas NCERA: Nuevos casos con enfermedades respiratorias agudas por inadecuadas condiciones de trabajo TCER: Total de casos con enfermedades respiratorias	U/%	Porcentaje de casos nuevos con enfermedades respiratorias agudas por inadecuadas condiciones de trabajo con respecto al total de casos por la propia enfermedad.
Remediación del terreno	Eqt= $\frac{TTTDC}{TTTDP}$	EQT: Estabilidad química del terreno TTTDC: Total de trampas de sedimentación, trincheras y diques filtrantes conformadas TTTDP: Total de trampas de sedimentación, trincheras y diques filtrantes planificadas	U/%	Porcentaje de trampas de sedimentación y diques filtrantes conformada en relación con las planificadas
	Eft= $\frac{TTC}{TTP}$	EFT: Estabilidad física del terreno TTC: Total de taludes conformados TTP: Total de taludes	U/%	Porcentaje de Taludes conformados en relación con los planificados

		planificados		
	Erfla= $\frac{TFR}{TFA}$	ERFL: Eficacia en la recuperación de la flora afectada TFR: Total de hectáreas de flora recuperadas TFA: Total de hectáreas de flora afectadas	ha	Total de hectáreas de flora recuperadas con respecto al total de hectáreas de flora afectada
	Erfa= $\frac{TEFR}{TEFA}$	ERFA: Eficacia en la recuperación de la fauna afectada TEFR: Total de especies de la fauna recuperadas TEFA: Total de especies de fauna afectadas	U	Total de especies de la fauna recuperada con relación con total de especies de fauna afectada
rehabilitación minera	Eparm= $\frac{ARRM}{APRM}$	EPARM: Efectividad del plan de acciones por la rehabilitación minera ARRM: Acciones realizadas por la rehabilitación minera APRM: Acciones planificadas en la rehabilitación minera	U	Acciones realizadas para la rehabilitación minera en relación con las planificadas
	Eerm= $\frac{GRARM}{GAPRM}$	EERM: Eficacia económica de la rehabilitación minera GRARM: Gasto real anual en la rehabilitación minera	UM/%	Porcentaje de gastos reales en la ejecución de la rehabilitación minera en relación con los gastos planificados para el

		GAPRM: Gasto anual planificado para la rehabilitación minera		propio concepto.
	Cprm= $\frac{HE}{HPR}$	CPRM: Cumplimiento del Plan de rehabilitación minera HE: Hectáreas en ejecución HPR: Hectáreas planificadas a rehabilitar	U/%	Por ciento de hectáreas en ejecución en relación con las planificadas
	Carm= $\frac{CARM}{CTRM}$	CARM: Calidad ambiental de la rehabilitación minera CARM: Costos ambientales de la rehabilitación minera CTRM: Costos totales de la rehabilitación minera	U/%	Por ciento de costos ambientales en la rehabilitación minera con respecto a los costos totales

Paso # 3 Estimación de los beneficios del plan de acción en las dimensiones económico, social y ambiental

Después de identificar los momentos del proceso de rehabilitación minera se procede a realizar los análisis económicos que permiten evaluar los gastos de esta actividad para su incorporación al presupuesto de la empresa (partida de repoblación forestal), se tiene en cuenta la integración de las entidades gubernamentales con la protección o conservación del medio ambiente a través del proceso de rehabilitación minera.

**2.2.7 Etapa VII: Evaluación del desempeño de la rehabilitación minera**

### Paso # 1 Comportamiento de los indicadores

Para el desempeño de la rehabilitación minera se elabora un programa que percibe la evaluación sistemática de los componentes ambientales, económicos y sociales, con la finalidad de examinar las medidas de manejo ambiental y se chequea el cumplimiento de las acciones diseñadas para los tres momentos mediante los indicadores del procedimiento, los cuales se ajustan a la norma ISO 14001 que establece el Sistema de gestión ambiental internacional.

Todo proyecto que incluye acciones de rehabilitación a implementar se le debe dar seguimiento permanente. El trabajo y la efectividad de las acciones elaboradas deben ir acompañados de una auditoría de gestión ambiental interna.

Al realizar la auditoría interna se tienen presentes los indicadores económicos, sociales y ambientales elaborados, las responsabilidades, los requisitos de la planificación y los informes de las auditorías internas. Esta auditoría ambiental se puede efectuar periódicamente para determinar si las medidas aplicadas para la rehabilitación minera han sido implementadas y mantenidas de acuerdo con lo planificado.

### **2.2.8 Etapa VIII: Elaboración del plan de mejora en correspondencia con los resultados**

La presente etapa permitirá mediante la información recopilada en la etapa anterior diseñar acciones encaminadas a corregir las insuficiencias en el plan de rehabilitación minera.

### Paso # 1 Elaboración del plan de mejora

En esta etapa corresponde al grupo de trabajo (especialistas encargados del medio ambiente de la mina y el consejo técnico de dirección de la mina) reunirse para proponer acciones encaminadas a revertir las deficiencias detectadas en las diferentes dimensiones. Este grupo analiza diariamente los resultados en las

acciones proyectadas para reevaluación o reformatión de acciones adoptadas, y de esta forma alcanzar una rehabilitación integral.

Las medidas correctivas propuestas por el grupo de trabajo se deben supervisar periódicamente, con la visión de mantener las condiciones compatibles según los patrones estándares predeterminados. A esta etapa se le da cumplimiento mediante la tormenta de ideas desarrollada por los especialistas que atienden la actividad en la empresa.

### **2.3 Validación del procedimiento**

El procedimiento elaborado se fundamenta en premisas y criterios que lo sustentan desde el punto de vista teórico. El mismo para la rehabilitación minera en los yacimientos lateríticos debe poseer los siguientes rasgos (Montes de Oca Risco, 2017):

- Sencillo y comprensible
- Expedito
- Flexible y dinámico
- Objetivo, o sea, estar técnicamente sustentado
- Congruente con la legislación ambiental cubana
- Económicamente factible
- Reproducible
- Orientado a la minería de canteras de áridos.

Sencillo y comprensible: que sea asequible tanto a los especialistas medioambientales como al personal técnico o de dirección de los organismos e instituciones que tendrán incidencia de una forma u otra en ella. Será simple y didáctico. Explícito en cuanto a los pasos a seguir.

Expedito: fácilmente aplicable, que mantenga una secuencia tal que permita efectuar trabajos de calidad en plazos de ejecución razonables de acuerdo con la envergadura del proyecto, que se eviten duplicidades, minuciosidad injustificada e interrupciones de la construcción o explotación.

Flexible: capaz de adaptarse a diferentes escenarios que puedan presentarse, a la diversidad de yacimientos, a las diferentes etapas del proyecto y que se pueda incorporar la información que se reciba en cualquier momento de la marcha del estudio.

Objetivo: esté a la par del nivel del conocimiento científico-técnico, en general, y ambiental, en particular; que se maneje en la actualidad.

Congruente con la legislación ambiental: que sea compatible y se engrane con los postulados y procedimientos establecidos en la legislación ambiental cubana, de manera que se eviten violaciones de la ley o interrupciones de los trabajos por desconocimiento del marco legal.

Económicamente factible: que sea realista en cuanto a los recursos y tecnologías de que se puede disponer en un país del tercer mundo para los trabajos de rehabilitación, así como las medidas correctoras y sistemas de monitoreo a aplicar para obtener los parámetros que rigen la calidad ambiental en los valores deseados.

Reproducibile: que los resultados estén libres de subjetivismo, en la medida que ello sea posible, de manera que distintos investigadores que lo usen puedan llegar de forma independiente a resultados semejantes.

Para la validación del procedimiento se aplicó el Método Delphi y se consultó a 24 expertos. Se analizó el procedimiento diseñado para determinar el nivel de aceptación y validación.

La segunda ronda del método Delphi, permitió confeccionar las encuestas donde los expertos expusieron sus criterios, en un primer momento de forma cualitativa y los

dos restantes rondas (dos y tres) lo realizaron de forma cuantitativa, lo que permitió obtener la unidad de criterios acerca de la validación del procedimiento.

Primera ronda o preguntas abiertas: Se consideraron ocho criterios básicos a tener en cuenta para la validación del procedimiento, el cual fundamenta teóricamente el procedimiento (Anexo 7). Los ocho criterios fueron aceptados por los expertos, lo que significa que existe estabilidad de opiniones y todos pasan a la segunda ronda (Anexo 8)

En la segunda ronda: Cada experto concedió un valor para cada criterio en una escala de 1 a 8, siendo 8 el mayor valor de aceptación (Anexo 9).

El procesamiento de los datos permitió elaborar la tabla de frecuencia absoluta (Anexo 9.1), la tabla de frecuencia acumulada (Anexo 9.2) y la tabla del inverso de la frecuencia absoluta acumulada (Anexo 9.3).

Para la elaboración de la tabla de frecuencia absoluta acumulada, se debe dividir el valor de cada celda de la tabla anterior entre el número de expertos consultados, en este caso 24. El cociente de esta división se aproximó hasta las diez milésimas. Como se trata de cinco categorías, se eliminó la última columna para obtener cuatro puntos de corte.

En este cuarto paso se buscaron las imágenes de cada uno de los valores de las celdas de la tabla anterior por la inversa de la curva normal (Anexo 9.4).

Después de realizados todos los cálculos que se orientaron en la tabla, se pasó a comparar los resultados obtenidos en cada uno de los ítems que se consultaron con los respectivos puntos de cortes, para llegar a conclusiones sobre la categoría en que los expertos coinciden en ubicar los ítems sometidos a su criterio. Se obtuvo un nivel de aceptabilidad promedio de excelente (Anexo 9.5).

En la tercera ronda: Para seleccionar los criterios y evaluar la concordancia entre los expertos. Se evaluaron en una escala de 1 (mayor incidencia) y 8 (menor incidencia)

(Anexo 10), se obtuvo un grado de concordancia a través del coeficiente Kendall (Ken) = 0,98; lo que confirma que existe concordancia entre los expertos.

La prueba de hipótesis se realizó con el objetivo de conocer la existencia de comunidad de intereses entre los expertos.

#### Prueba de hipótesis

$$x^2 \text{ calculada} > x^2 \text{ tabulada: } 164,64 > 35,17$$

Pues  $x^2$  calculada  $>$   $x^2$  tabulada, entonces hay concordancia entre los expertos.

Los 24 expertos consultados basaron sus respuestas en la validación del procedimiento para la gestión económica y socio-ambiental en la rehabilitación minera mediante los criterios propuestos:

MA: Muy adecuado

BA: Bastante adecuado

A: Adecuado

PA: Poco adecuado

I: Irrelevante

Los resultados de la validación del procedimiento por expertos se exponen en la Tabla 3.

Con la aplicación del criterio de expertos para la validación del procedimiento se obtuvo un nivel de aceptabilidad alto, lo que significa que se considera factible su aplicación para la rehabilitación minera en los yacimientos lateríticos.

Tabla 3. Resultados de la validación del procedimiento

Criterios	Valor
El procedimiento está científicamente sustentado	MA
Sencillo y comprensible	MA
Flexible y dinámico	MA
Adecuado para la rehabilitación minera en los yacimientos lateríticos	MA
Reproducible	MA

Congruente con las normativas ambientales	MA
Nivel de aprobación del procedimiento objeto de análisis	MA
Generalizable para su uso en otras regiones del país	MA

Con un total de 24 expertos consultados (doctores, master, ingenieros, docentes, con experiencias en la producción y que trabajan directo con el medio ambiente), se elabora una encuesta que permitió analizar las etapas y pasos del procedimiento y se llega a las siguientes conclusiones (anexo 11):

La etapa I preparación inicial del procedimiento con los tres pasos propuestos se alcanza un total de 18 expertos con el criterio de muy adecuado, lo que representa un 75% distribuido en 10 doctores, 6 master, 1 especialista y 1 ingeniero; de adecuado 4 expertos lo que representa un 16,67% de ellos 3 doctores y 1 master y de irrelevante 2 experto lo que representa un 8,33%.

La etapa II caracterización de la línea base del ecosistema objeto de estudio integrado por dos pasos para su cumplimiento se obtiene 23 expertos con el criterio de muy adecuado, lo que representa un 95,83% distribuido en 15 doctores, 7 master y 1 especialista; de adecuado 1 experto lo que representa un 4,14%.

La etapa III identificación de los impactos ambientales del ecosistema afectado, compuesto por un paso, los 24 expertos emitieron criterio de muy adecuado, lo que representa un 100%.

La etapa IV valoración económica de los bienes y servicios ecosistémicos afectados, integrado por dos pasos para su cumplimiento, se obtiene 20 expertos con el criterio de muy adecuado, lo que representa un 83,33% distribuido en 13 doctores, 5 master, 1 especialista y 1 ingeniero; de adecuado 4 expertos lo que representa un 16,67%.

La etapa V planificación económica de la rehabilitación minera integrada por tres pasos se obtiene 24 expertos con el criterio de muy adecuado, lo que representa un 100%.

La etapa VI propuesta del plan de la rehabilitación del área minada compuesto por tres pasos, se obtiene 24 expertos con el criterio de muy adecuado, lo que representa un 100%.

La etapa VII evaluación del desempeño de la rehabilitación minera integrado por un paso para su cumplimiento se obtiene 19 expertos con el criterio de muy adecuado, lo que representa un 79,17% distribuido en 13 doctores, 6 master; de adecuado 5 experto lo que representa un 16,67%.

La etapa VIII elaboración del plan de mejoras en correspondencia con los resultados, integrado por un paso, se obtiene 24 expertos con el criterio de muy adecuado, lo que representa un 100%.

### **Conclusiones parciales**

El procedimiento para la gestión económica y socio-ambiental en la rehabilitación minera constituye una herramienta metodológica que facilita a los especialistas, decisores y trabajadores vinculados a la actividad minera, la utilización de un sistema de indicadores que contribuye a lograr el imprescindible equilibrio entre el desarrollo económico y la preservación de los ecosistemas, en la explotación de los yacimientos lateríticos.

El procedimiento propuesto es la adaptación apropiada a la valoración económica y socio-ambiental en el proceso de rehabilitación minera en los yacimientos lateríticos, ya que su aplicación permite la integración de los componentes económico, social y ambiental lo que coadyuvará a la sostenibilidad del ecosistema afectado y el procedimiento propuesto puede ser utilizado en otros yacimientos, cuya explotación se realice a cielo abierto.

La validación del procedimiento a través del método de expertos alcanzó un alto nivel de aceptación, lo que demuestra su aplicabilidad para la rehabilitación minera en los yacimientos lateríticos.

## **CONCLUSIONES**

El análisis de los fundamentos teóricos y metodológicos del proceso de gestión económica y socio-ambiental en la rehabilitación minera y su repercusión en el ecosistema, permitió elaborar el marco teórico referencial de la investigación.

El estudio de metodologías, procedimientos, manuales, planes, guías y proyectos propuestos por autores nacionales e internacionales, establecieron las bases de la elaboración de un procedimiento para la gestión económica y socio-ambiental en la rehabilitación minera donde se incorporan las dimensiones económicas, sociales y ambientales.

La validación del procedimiento de gestión económica y socio-ambiental por expertos de alta calificación permite su aplicación en el proceso de rehabilitación minera.

## **RECOMENDACIONES**

Al Consejo de Dirección de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara

1. Proponer la implementación y aplicación del procedimiento de gestión económica y socio-ambiental en la rehabilitación minera propuesto.

A los Coordinadores de Carrera

2. Profundizar en las asignaturas (economía ambiental, nociones de minería, economía de empresa y geología ambiental) que se imparten a las carreras de ciencias económicas, mina y geología los estudios relacionados con los aspectos económicos, sociales y ambientales que inciden directamente en la rehabilitación minera, por parte de los profesores encargados del cumplimiento de la misma.

Al Consejo de la Administración Municipal de Moa

3. Incorporar en la estrategia de desarrollo local del municipal Moa por el grupo empresarial Cubaníquel la inclusión de acciones encaminadas a la recuperación de áreas afectadas por la extracción minera, según los usos futuros que se haya seleccionado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera Klink, F., & Alcántara, V. (2011). *De la Economía Ambiental a la Economía Ecológica* (pp. 242). doi:33.999-1994
- Alpízar, F. (2014). Valoración del impacto de eventos climáticos extremos: daños ambientales en el caso cubano. Inédito: Informe de Consultoría. La Habana.
- Arboleda, J. (2008). Manual de evaluación de impactos ambientales en proyectos, obras o actividades.
- Asamblea del Podel Popular. (1998). Ley 85 Forestal (pp. 773). Gaceta Oficial de la República de Cuba: La Habana.
- Asamblea del Poder Popular. (1995). Ley 76 Ley de Mina (pp. 33). Gaceta Oficial de la República de Cuba: La Habana.
- Asamblea del Poder Popular. (1997). Ley 81 Medio Ambiente (pp. 47). Gaceta Oficial de la República de Cuba: La Habana.
- ASGMI. (2008). *Evaluación y Recuperación Ambiental de Espacios Mineros. Pasivos Ambientales Mineros*. Paper presented at the Acta de Conclusiones y Acuerdos del Seminario de la Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos, Santa Cruz de la Sierra.
- Asociación Nacional de Empresarios de Fabricantes de Áridos (ANEFA). (2006). Manual de Restauración de explotaciones a cielo abierto de Aragón (pp. 130). Gobierno de Aragón.
- Batista Martínez, K. (2016). *Metodología para el mejoramiento y rehabilitación de ecosistemas degradados por la extracción de níquel en áreas de la Empresa "Comandante René Ramos Latour"*. (Tesis Maestría), Instituto Superior Minero Metalúrgico.

- Benavides Gaibor, L. H. (2011). *Gestión, liderazgo y valores en la administración de la unidad educativa "San Juan de Bucay" del Canton General Antonio Elizalde (BUCAY). Durante período 2010-2011.* (Tesis de Maestría), Universitario Guayaquil, Universidad Católica de Loja.
- Bresso, M. (2006). *Per un'economía ecológica.* La Nuova: Italia. Scientifica.
- Bruzón Sánchez, N., Herrero Echavarría, G., Salazar Diez, R., & Batista Martínez, K. (2012). Rehabilitación de áreas devastadas por la minería en la región nororiental de Cuba. (1), 4.
- CEPAL. (2015). Guía metodológica: Instrumentos económicos para la gestión ambiental (pp. 73): Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- CEPRONÍQUEL. (2011). Proyecto 1772 de Explotación del Yacimiento de Camarioca Este (pp. 53): Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
- Colegio de bachilleres. (2010). *ECONOMÍA I* (pp. 148). Retrieved from <https://www.google.com/search?q=http%3A%2F%2Fwww.google.com.cu%2Furl%3Fsa%3Dt%26rct%3Dj%26q%3D%26esrc%3Ds%26source%3Dweb%26cd%3D4%26cad%3Drja%26uact%3D8%26ved%3D0ahUKEwi9tsP4h9fSAhUBR2MKHTwDCSIQFggvMAM%26url%3Dhttp%253A%252F%252Ffiles.manjarr.es.webnode.com.co%252F200000042-275d528573%252FlibroECONOMIA1.pdf%26usq%3DAFQjCNEtGMR3H30tEoZfM0CegzNv0iTbHA%26bvm%3Dbv.149397726%2Cd.eWE&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:es-ES:official&client=firefox-a&channel=sb>
- Conceptualización del Modelo Económico y Social Cubano de Desarrollo Socialista. (2016). Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el año 2030: Propuesta de visión de la Nación, Ejes y Sectores Estratégicos. (pp. 32).
- Constitución general República de Cuba. (1976). Capítulo I Fundamentos económicos, políticos y sociales del estado.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC. (1985). Estudio sobre el uso potencial del suelo, cuenca alta del río Dagua. Cali, Colombia.
- Chavarro, A., & Quintero, J. C. (2011). Economía ambiental y economía ecológica: Hacia una visión unificada de la sostenibilidad. *Revista Ideal ambientales*(2), 10.

- Chaviano Beitra, A., Cervantes Guerra, Y., & Pierra Conde, A. (2011). Algunas consideraciones de rehabilitación minera en la minería del níquel: Municipio de Moa, Cuba. *Revista Desarrollo Local Sostenible*, 4(10), 41-52.
- Durán Zaldivar, Y. (2016). *Caracterización y evaluación de las escombreras de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara para su posible uso industrial*. (Tesis de diploma), Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- Estudio de evaluación de impacto ambiental del yacimiento Camarioca Este en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. (2009): CESIGMA.
- Fuentes Sardiña, R. I. (2013). *Propuesta de planes de manejo como instrumento para la rehabilitación de canteras. Estudio de casos: Cantera la Zamora, Matanzas*. (Tesis Doctoral), Pinar del Río.
- García, A. E., Bruzón, N., Campos, M., Olivera, J., Miravet, B. L., Jaimez, E., . . . Carballosa, A. (2011). *Principales problemas que confronta el proceso de rehabilitación de áreas impactadas por la minería del níquel en Cuba*. Paper presented at the Cuarta convención cubana de ciencias de la tierra, GEOCIENCIAS'2011., La Habana.
- Gómez Pais, G. d. I. M., Gómez Gutiérrez, C., & Rangel Cura, R. (2015). Guía metodológica para la valoración económica de bienes y servicios ecosistémicos (BSE) y daños ambientales. (pp. 27): CITMA.
- Hartley Ballesteros, M. (2008). Economía ambiental y Economía ecológica: Un balance crítico de su relación. *Revista Economía y Sociedad*( 33 y 34), 55 - 65.
- Herrero Echevarría, G., Bruzón Sánchez, N., Batista Martínez, K., & Herrera Oliver, P. P. (2009). Reforestación para la rehabilitación de terrenos degradados por la industria minera a cielo abierto en la región Nicaro – Mayarí, Holguín, Cuba. *Agricultura orgánica*, 3.
- ISO. (2015). ISO 14001 Sistemas de gestión ambiental — Requisitos con orientación para su uso. Suiza.
- Karataev, Ryndina, Stepanov, & otros. (1979). *Historia de la doctrinas económicas* (primera edición cubana ed.): Pueblo y educación.

- Labandeira, X., León, C. J., & Xosé Vázquez, M. (2007). *Economía ambiental* (pp. 376). doi:M-42.435-2006
- Lara López, F. (2007). Economía ecológica vs. Economía ambiental: orígenes y diferencias.
- Legrá Lobaina, A. A., & Silva Diéguez, O. R. (2011). *La investigación científica. Conceptos y reflexiones*. La Habana: Félix Varela.
- Lineamientos de la Política Económica y Social del Estado y la Revolución. (2016). VII Congreso del Partido Comunista de Cuba. La Habana: pp. 38.
- Loustaunau, M. (2014). Aspectos e Impactos Ambientales.
- Marín Marín, N. (2012). *Modelos de recuperación de áreas degradadas por minería de oro de aluvión*. Paper presented at the SIMPOSIO BOSQUES Y MINERÍA RESPONSABLE, CIA Sede Central.
- Ministerio de ciencia; Teconología y Medio Ambiente. (2016). Estrategía Ambiental Nacional, Provincial y Municipal.
- Ministerio del Ambiente. Dirección General de Evaluación. Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. (2015). Manual de valoración económica del patrimonio natural (Vol. 45). Perú: Lima, Perú.
- Monroy Hernández, R., Valdivia Alcalá, R., Sandoval Villa, M., & Rubiños Panta, J. E. (2011). Valoración económica del serrvicio ambiental hidrológico en una reserva de la biosfera. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 315-323.
- Montero Matos, J. (2018). *Cierre sostenible de canteras de materiales para la construcción en Cuba*. (Tesis doctoral), Instituto Superior Minero Metalúrgica de Moa, Instituto Superior Minero Metalúrgica de Moa.
- Montes de Oca Risco, A. (2017). *Procedimiento para la recuperación de áreas degradadas en canteras de áridos*. (Tesis Doctoral), Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- Montes de Oca Risco, A., & Ulloa Carcassés, M. (2013). Recuperación de áreas dañadas por la minería en la cantera los Guaos, Santiago de Cuba, Cuba. *Luna Azul*, 37(74-88).
- Morales M, E. V. (2011). *Modelo multidimensional para la educación medioambiental empresarial y el desempeño sostenible* Vol. 5. (pp. 10).

- Naredo , J. M. (1992). *Fundamentos de la Economía Ecológica*. Paper presented at the IV Congreso Nacional de Economía, Desarrollo y Medio Ambiente, Sevilla.
- Odum, E. P. (1982). *Ecología* (Edición cubana, Primera edición ed.): Edición revolucionaria.
- Osorio Múnera, J. D., & Correa Restrepo, F. (2004). Valoración económica de costos ambientales: Marco conceptual y métodos de estimulación. *Semestre Económico*, 7(13), 159-193.
- Oyarzun Muñoz, R. (2011). *Introducción a la Geología de Minas: Exploración & Evaluación* (pp. 175). Retrieved from [www.aulados.net/GEMM/GEMM.html](http://www.aulados.net/GEMM/GEMM.html)
- Oyarzun, R., Higuera, P., & Lillo, J. (2011). *Minería ambiental: Una introducción a los impactos y su remediación* (pp. 335). Retrieved from [www.aulados.net/GEMM.html](http://www.aulados.net/GEMM.html)
- PNUD/CEPAL. (2000). *Desafíos y propuestas para una implementación más efectiva de instrumentos económicos en la gestión ambiental de América Latina y el Caribe*. Paper presented at the XII Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe, Bridgetown, Barbados.
- Programa de Desarrollo Sostenible para la Industria Minera del Departamento de Industria; Turismo y Recursos del Gobierno de Australia. (2006). Manual para la Rehabilitación de Minas
- Rabilero, M. (2013). *Metodología para la rehabilitación biológica que propicie la recuperación paulatina de los terrenos minados de la empresa Pedro Soto Alba Moa-Nikel S.A.* Paper presented at the Quinta Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Geociencias´2013 [CD-ROM], La Habana.
- Rendón Díaz, C. J. (2011). *Herramientas de gestión de transferencia tecnológica para la recuperación de áreas degradadas por minería*. (Tesis de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería Administrativa en Gestión Tecnológica ), Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín
- Resolución 132 CITMA. (2009). Reglamento del proceso de evaluación de impacto ambiental: Gaceta oficial de la República de Cuba.
- Reynaldo Arguelles, C. L. (2013). *Procedimiento para la valoración económica y ambiental en la actividad minera de níquel*. (Tesis Doctoral), Santiago de

Cuba, Instituto Superior Minero Metalúrgico. Retrieved from <http://www.ismm.edu.cu/edum>

Rodríguez Córdova, R. (2005). *Evaluación de Impactos ambientales* (pp. 128).

Rodríguez Córdova, R., Mir Frutos, Z., & Guzmán Alberteris, L. (2018). *Incidencia de la valoración económica de bienes y servicios ecosistémicos en la gestión ambiental*. Paper presented at the Congreso Universidad 2018, La Habana.

Rodríguez Córdova, R. G. (2002). *Economía y recursos naturales. Una visión ambiental de Cuba: Apuntes para un libro de texto*. Universitat Autònoma de Barcelona: Servei de publicacions.

Rodríguez Urbino, J., Díaz Martínez, B., & Sigarreta Vilches, S. (2016). *Rehabilitación ambiental minera*. 18.

Sánchez Angulo, L. A. (2009). *Impactos ambientales*.

Serrada Hierro, R. (2000). *Apuntes de Repoblaciones Forestales*. 77.

Torres Batista, Y., Rodríguez Córdova, R., & Reynaldo Argüelles, C. L. (2018). *Modelo de gestión económico-ambiental para la rehabilitación minera en función del desarrollo sostenible*. *Revista Caribeña de las Ciencias Sociales*, 11.

Urbino, J., & Díaz, M. (2011). *Rehabilitación ambiental minera, una opción holística*. Paper presented at the Cuarta Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Geociencias´2011, La Habana.

## **Glosario de términos:**

**Costos ambientales:** es el asociado al deterioro actual o prospectivo de los recursos naturales.

**Ecotecnología:** es el diseño, construcción, operación y gestión (es decir, la ingeniería) de estructuras paisajísticas/acuáticas y sus comunidades de plantas y animales asociadas para beneficiar a la humanidad y, a menudo, a la naturaleza.

**Escombreras:** conjunto de sobrantes originados como consecuencia del laboreo minero que será aprovechable con el desarrollo de una tecnología consecuente.

**Exploración:** conjunto de operaciones, trabajos y labores mineras que tienen como objetivo la determinación de la estructura del yacimiento, la morfología, dimensiones y condiciones de yacencia del cuerpo mineral, la tectónica de la zona que lo contiene, el contenido y calidad del o de los minerales existentes en el mismo, así como el cálculo de las reservas, incluyendo la evaluación económica del yacimiento y otros estudios que ayuden a su mejor explotación.

**Explotación:** conjunto de operaciones, obras, trabajos y labores mineras destinados a la preparación y desarrollo del yacimiento y a la extracción y transportación de los minerales.

**Externalidades:** son los impactos ambientales producidos por la acción antrópica los cuales no están contemplados en el costo de producción y que deben estarlo.

**Fauna edáfica:** está constituida por organismos cuyo diámetro va desde los 2 mm hasta los 20 mm, los cuales intervienen en distintos procesos como: la agregación y estructura del suelo, en la textura, intercambio gaseoso, movimiento de masas de

agua, y en la transformación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

**Impacto Ambiente:** consecuencias degradantes para el medio ambiente que genera la acción del hombre u otro elemento ajeno ha dicho medio.

**Medio ambiente:** sistema de elementos abióticos, bióticos y socioeconómicos con que interactúa el hombre, a la vez que se adapta al mismo, lo transforma y lo utiliza para satisfacer sus necesidades.

**Mineral:** sustancia inorgánica que se halla en el suelo o en el subsuelo, y principalmente aquella cuya explotación ofrece interés económico.

**Minería:** conjunto de actividades referentes al descubrimiento y extracción de los recursos minerales que se encuentran bajo la superficie de la tierra.

**Prospección:** conjunto de trabajos con empleo de técnicas y métodos que tienen como objetivo la búsqueda de indicios y concentraciones minerales que pudieran constituir yacimiento.

**Reconocimiento:** realización de trabajos preliminares en determinadas áreas, definiendo zonas de interés para la prospección.

**Recursos naturales:** todos los componentes del medio ambiente, renovable o no renovable, que satisfacen necesidades económicas, sociales, espirituales, culturales y de la defensa nacional, garantizando el equilibrio de los ecosistemas y la continuidad de la vida en la tierra

**Sinantropismo:** Es la capacidad de algunas especies de flora y fauna para habitar en ecosistemas urbanos o antropizados, adaptándose a las condiciones ambientales creadas o modificadas como resultado de la actividad humana.

**Tecnología de rehabilitación ecológica:** Es la observación, simulación, prevención, mitigación, adaptación, remediación y restauración del medio natural y artificial (recursos naturales como agua, suelo y aire, así como los residuos generados por toda clase de actividad humana), protección y conservación del patrimonio cultural, incluyendo el hábitat humano, evaluación, verificación y ensayo de tecnologías.

**Yacimiento:** cualquier acumulación natural de sustancias minerales en el suelo o en el subsuelo, que pueda ser utilizado y explotado como fuente de materia prima y como fuente de energía, y las concentraciones de piedras preciosas y semipreciosas y de cualquier otra sustancia mineral cuya explotación tenga importancia económica.

## ANEXOS

### ANEXO 1 COMPOSICIÓN DEL CONSEJO DE DIRECCIÓN DE LA MINA

No	Nombre y Apellidos	Cargo
1	Karel Nelson Petit Quiroga	Director de la Mina
2	María Isabel García de la Cruz	Jefe técnico
3	Alexander Durán Morales	Jefe de geología
4	Alexis Vallant Galindo	Jefe de taller
5	Alexey Sablón Laffita	Jefe de tecnología
6	Luis Laffita Martínez	Especialista principal energético
7	Yoandri De la Fuente	Especialista de seguridad y protección
8	Yosvani Santiago Rodríguez	Jefe de operaciones
9	Eldis Azahares Muguercia	Jefe de turno
10	Gladis Ruis Proensa	Miembro
11	Yordani Velázquez Rodríguez	Miembro
12	Yeider Rodríguez Samora	Miembro
13	Marizol Romero Santana	Miembro

## ANEXO 2 ENCUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE COMPETENCIA A EXPERTO

Nombre y apellidos: \_\_\_\_\_

Usted ha sido seleccionado como posible experto para ser consultado respecto al grado de relevancia del tema: Rehabilitación minera.

Como parte del método empírico de la investigación se debe realizar la “consulta a expertos”, para poder determinar el coeficiente de competencia que tienen en el tema a trabajar, con el objetivo de fortalecer la validación de los resultados de la consulta que se realiza. Por esta razón se solicita que las siguientes preguntas se respondan de la forma más objetiva posible:

1.- Marque con una cruz, en la tabla siguiente, el valor que se corresponde con el grado de conocimiento que usted posee sobre el tema: la rehabilitación minera.

La escala que se presenta es ascendente.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

2.- Realice una autovaloración del grado de influencia de las fuentes que se presentan a continuación.

Fuentes de argumentación.	Grado de influencia de cada una de las fuentes.		
	A (alto)	M (medio)	B (bajo)
Análisis teórico realizado			
Su experiencia obtenida			
Trabajo con autores nacionales			

Trabajo con autores extranjeros			
Su propio conocimiento del estado del problema.			
Su intuición			

3- Realice una autoevaluación de la interdisciplinariedad que usted ha utilizado en los trabajos de rehabilitación minera.

Dimensiones	Grado de interdisciplinariedad de cada uno.		
	A (alto)	M (medio)	B (bajo)
Económica-Ambiental-Social			
Ambiental-Social			
Económica-Ambiental			
Económica-Social			

**Muchas gracias.**

### ANEXO 3 ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE COMPETENCIA DE LOS EXPERTOS

No	Nombre y Apellidos	Profesión	Especialidad	Categoría científica	País	Centro de Trabajo	Año de experiencias	Constante	EC	Kc	Ka	Kcm
1	Roberto Guillermo Rodríguez Córdova	Ingeniero	Mina	Dr. C Económicas	Cuba	Universidad Holguín	52 años	0,1	10	1	1	1
2	Clara Luz Reynaldo Arguelles	Licenciada	Economía	Dra. C Económicas	Cuba	ISMMMoA	16 años	0,1	10	1	1	1
3	Alina Chaviano Beitza	Ingeniera	Geología	MSc. Medio Ambiente	Cuba	ISMMMoA	15 años	0,1	7	0,70	0,615	0,6575
4	Maday Cartaya Pino	Ingeniera	Mina	Dra. C Técnica	Cuba	ISMMMoA	15 años	0,1	8	0,60	0,84	0,72
5	Maiquel León Meriño	Ingeniero	Mina		Cuba	ECG	35 años	0,1	7	0,70	0,615	0,6575
6	Antonio Cutiño Jiménez	Ingeniero	Mina		Cuba	ECG	30 años	0,1	10	1	0,985	0,9925
7	Raisa Rivas Hierreguelo	Licenciada	Economía		Cuba	ECG	25 años	0,1	5	0,50	0,65	0,575
8	Diosdanis Guerrero Almeida	Ingeniero	Mina	Dr. C Técnica	Cuba	ISMMMoA	21 años	0,1	10	1	0,84	0,92
9	Yosbanis Cervantes Guerra	Ingeniero	Mina	Dr. C Técnica	Cuba	ISMMMoA	15 años	0,1	7	0,70	0,615	0,6575
10	Hector Esparraguera Guilarte	Ingeniero	Mina		Cuba	ISMMMoA	1 año	0,1	6	0,60	0,675	0,6375
11	Mirian Rodríguez Bárcenas	Ingeniera	Geóloga		Cuba	ECG	20 años	0,1	3	0,30	0,615	0,4575
12	Yoandro Diéguez García	Ingeniero	Mina	Dr. C Técnica	Cuba	ISMMMoA	12 años	0,1	7	0,70	0,84	0,77
13	Rafael Noa Monjes	Ingeniero	Mina	Dr. C Técnica	Cuba	ISMMMoA	14 años	0,1	6	0,60	0,875	0,7375
14	Ramón Gilberto Polanco Almanza	Ingeniero	Mina	Dr. C Técnica	Cuba	ISMMMoA	21 años	0,1	6	0,60	0,875	0,7375
15	Ana Caridad Che Viera	Ingeniera	Mina		Cuba	ISMMMoA	16 años	0,1	8	0,70	0,615	0,6575
16	Alexis Montes de Oca	Ingeniero	Mina	Dr. C Técnica	Cuba	ISMMMoA	12 años	0,1	10	1	0,845	0,9225
17	Julio Montero Matos	Ingeniero	Mina	Dr. C Técnica	Cuba	ISMMMoA	7 años	0,1	9	0,90	0,85	0,875
18	Yordanys Esteban Batista Legrá	Ingeniero	Mina	Dr. C Técnica	Cuba	ISMMMoA	18 años	0,1	7	0,65	0,84	0,745
19	Armando Cuesta Rocio	Ingeniero	Mina	Dr. C Técnica	Cuba	ISMMMoA	18 años	0,1	5	0,50	0,785	0,6425
20	Mayda Ulloa Carcacés	Ingeniera	Mina	Dra. C Económicas	Cuba	ISMMMoA	40 años	0,1	10	1	0,925	0,9625
21	Naisma Hernández Jatib	Ingeniera	Mina	Dra. C Técnica	Cuba	ISMMMoA	12 años	0,1	6	0,60	0,56	0,58
22	Ismael Terrero Aguirre	Ingeniero	Mina		Cuba	ISMMMoA	7 años	0,1	4	0,40	0,42	0,41
23	José Antonio Otaño Noguel	Ingeniero	Mina	Dr. C Técnica	Cuba	ISMMMoA	50 años	0,1	10	1	1	1
24	Bertha Sánchez Díaz	Ingeniera	Geología	MSc. Medio Ambiente	Cuba	Ceproníquel	18 años	0,1	10	1	0,9	0,95
25	Agustín Miranda Correa	Licencia	Contabilidad y F	MSc. Contabilidad	Cuba	Universidad de Pinar del Río	15 años	0,1	5	0,50	0,785	0,6425

26	Rafael Guardado Lacava	Ingeniero	Geólogo	Dr. C Técnica	Cuba	ISMMMoA	45 años	0,1	10	1	1	1
27	José A. Carmentate Fernández	Ingeniero	Mina	MSc. Mina	Cuba	ISMMMoA	15 años	0,1	6	0,60	0,56	0,58
28	Asel Guilarte Gainza	Licenciado	Biólogo	MSc. Biología	Cuba	ISMMMoA	8 años	0,1	4	0,40	0,42	0,41
29	Yanmari Paumier Frómata	Licenciada	Físico	Especialista	Cuba	ISMMMoA	15 años	0,1	7	0,60	0,84	0,72
30	Juan Manuel Montero Peña	Licenciado	Filosofo	Dr. C Filosofica	Cuba	ISMMMoA	32 años	0,1	5	0,50	0,785	0,6425
31	María Isabel García de la Cruz	Ingeniera	Mina	Dra. C Técnica	Cuba	ECG	20 años	0,1	10	1	0,925	0,9625
32	Kenia Batista Martínez	Ingeniera	Forestal	MSc. Desarrollo sustentable	Cuba	Rehabilitación Minera	15 años	0,1	10	1	0,925	0,9625
33	Allan Pierra Conde	Ingeniero	Biologo	Dr. C Técnica	Cuba	ISMMMoA	25 años	0,1	5	0,50	0,785	0,6425
34	Omar Yazbek Bitar	Ingeniero	Geólogo	Dr. C Técnica	Brasil	Universidad de Buenos Aires	35 años	0,1	10	1	1	1
35	Rafael Fernández Rubio	Ingeniero	Mina	Dr. C Técnica	España	Universidad Politécnica de Madri	35 años	0,1	10	1	1	1
36	Pablo León Higuera Higuera	Ingeniero	Geólogo	Dr. C Técnica	España	Universidad de Castilla-La Mancha	40 años	0,1	9	0,93	0,95	0,94167
37	Melanio Madem Ventacourt	Ingeniero	Mina	MSc. Medio Ambiente	Cuba	Combinado	30 años	0,1	10	1	1	1
38	Teresa Hernández Columbié	Ingeniera	Geólogo	Dra. C Técnica	Cuba	ISMMMoA	24 años	0,1	10	1	1	1
39	Josefina Aguirre Aguirre	Ingeniera	Metalurgia	MSc. Medio Ambiente		Medio Ambiente ECG	40 años	0,1	10	1	1	1
40	Idania Romero Pineda	Licenciada	Geología	Especialista en DL	Cuba	Medio Ambiente Gobierno	23 años	0,1	10	1	1	1
41	Óscar González Fernández	Licenciado	Ciencias Ambientales	Dr. C Ambientales	México	Universidad Americana de Europa	12 años	0,1	9	0,9	0,945	0,92
42	Gricel Palacio Castillo	Ingeniera	Química	MSc. Medio Ambiente	Cuba	Cubaniquel	25 años	0,1	10	1	1	1
43	Selmira Perdomo Sierra	Licenciada	Bióloga	MSc. Medio Ambiente	Cuba	Agencia de Medio Ambiente	20 años	0,1	10	1	1	1
44	Maritza García García	Licenciada	Bióloga	Dra. C	Cuba	Agencia de Medio Ambiente	28 años	0,1	5	0,50	0,785	0,6425
45	Idalmis Milagros Vargas Tamayo	Licenciada	Economía	MSc. Desarrollo sustentable	Cuba	ISMMMoA	40 años	1,1	5	0,50	0,785	0,6425
46	Carmen María Hernández Fernández	Licenciada	Microbiología	MSc.	Cuba	ISMMMoA	15 años	0,1	10	1	1	1
47	Yosvani Fernández Ramírez	Licenciado	Biólogo	MSc.	Cuba	ISMMMoA	18 años	0,1	7	0,70	0,615	0,6575
48	Francisco Cejas Rodríguez	Ingeniero	Geología	Dr. C Técnica	Cuba	Instituto de Geografía Tropical	12 años	0,1	10	1	1	1
49	Diliana Leyva Cisnero	Licenciada	Economía	MSc.	Cuba	ISMMMoA	16 años	0,1	4	0,40	0,42	0,41
50	Ramón González Aguerro	Licenciado	Contabilidad y F	MSc.	Cuba	ISMMMoA	16 años	0,1	4	0,40	0,42	0,41

## **ANEXO 4 ENCUESTA A EXPERTOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES**

Nombre y apellidos: \_\_\_\_\_

Institución a la que pertenece: \_\_\_\_\_

Cargo actual: \_\_\_\_\_

Calificación profesional, grado científico o académico:

Profesor: \_\_\_\_\_ Licenciado: \_\_\_\_\_ Ingeniero: \_\_\_\_\_ Especialista: \_\_\_\_\_

Máster: \_\_\_\_\_ Doctor: \_\_\_\_\_

Años de experiencia en la profesión: \_\_\_\_\_ Años de experiencia docente y en la investigación: \_\_\_\_\_

Como parte del tema de Tesis “Modelo de gestión económico-ambiental para la rehabilitación minera”, en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Económicas, se está elaborando un procedimiento que permitirá perfeccionar el proceso de rehabilitación minera que se lleva a cabo actualmente en las empresas niquelíferas.

A continuación se mostrará las acciones en cada fase, los impactos y los factores identificados en la actividad minera para realizar la identificación y valoración de los impactos ambientales.

### Acciones impactantes

#### ➤ **Fase de Apertura:**

A. Tala.

B. Construcción de diques de sedimentación

C. Desbroce

D. Construcción de caminos.

E. Destape, carga y transporte.

F. Conformación de escombrera.

➤ **Fase de Explotación**

G. Extracción del mineral

H. Carga y transporte del mineral.

I. Trabajos de Drenaje

➤ **Fase de Rehabilitación Minera**

J. Estabilización y Conformación del terreno.

K. Trabajos de drenaje

L. Reforestación

Impactos identificados

No	Impactos
1	Cambios locales de microclima por la eliminación de la cobertura vegetal y los suelos.
2	Incremento del nivel de ruido por incremento del trabajo de equipos pesado y tráficos de camiones.
3	Contaminación de la atmósfera
4	Emisiones continuos de polvo a la atmósfera
5	Incremento de los procesos erosivos
6	Modificación del relieve
7	Aumento del deslizamiento y derrumbes
8	Afectación a las cuencas hidrográficas
9	Modificación del comportamiento de variables meteorológicas
10	Contaminación de las aguas fluviales
11	Aumento de la sedimentación en los márgenes de los ríos
12	Alteración de las condiciones de alimentación y descarga de las aguas subterráneas
13	Incremento de la diversidad de la red vial y del tráfico terrestre por la construcción de caminos mineros
14	Aumento de los recursos de agua, combustible y electricidad
15	Pérdida de la cobertura forestal en áreas por minar por el trazado de caminos mineros, terraplén del transportador del mineral
16	Pérdida de material genético vegetal y germoplasma
17	Pérdida de la capa vegetal
18	Pérdida de las especies

19	Migración (aves, mamíferos) y muertes (reptiles, anfibios, insectos)
20	Alteración de los ecosistemas naturales y desaparición de la microflora y microfauna
21	Alteración de la calidad estética-visual del paisaje
22	Afectación a la salud e integridad física de los trabajadores y habitantes
23	Alteración de la dinámica demográfica
24	Afectaciones en la población por la reubicaciones de sus viviendas
25	Aumento de las demandas sociales

Factores del medio impactados

Clima

Calidad del aire

Suelo

Relieve

Hidrología (Agua superficial y subterránea)

Viales y tráfico terrestre

Recursos Naturales y energéticos

Vegetación y flora terrestres

Fauna terrestre

Ente ecológico

Paisaje

Agentes sociales (Población)

Agentes Económicos (infraestructura económica)

1. Según Rodríguez Córdova, 2005 la matriz se conforma verticalmente por los factores ambientales y horizontalmente las acciones que provocan los impactos ambientales en la actividad minero. Relacione factor-acción-impacto según corresponda.

Factores	Acciones impactantes		
	Fase de Apertura	Fase de Explotación	Fase de Rehabilitación Minera

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Clima												
Calidad del aire												
Suelo												
Relieve												
Hidrología (Agua superficial y subterránea)												
Viales y tráfico terrestre												
Recursos Naturales y energéticos												
Vegetación y flora terrestres												
Fauna terrestre												
Ente ecológico												
Paisaje												
Agentes sociales (Población)												
Agentes Económicos (infraestructura económica)												

2. A continuación se deberá clasificar según la escala de la matriz causa- efecto titulado la “Tipificación de los impactos. Valoración cuantitativa y cualitativa”

<b>Factores ambientales</b>	<b>Impactos ambientales</b>	CI	I	EX	SI	PE	EF	MO	AC	MC	RV	MI
Clima	Cambios locales de microclima por la eliminación de la cobertura vegetal y los suelos.											

Calidad del aire	Incremento del nivel de ruido por incremento del trabajo de equipos pesado y tráficos de camiones.																			
	Contaminación de la atmósfera																			
	Emisiones continuos de polvo a la atmósfera																			
Suelo	Incremento de los procesos erosivos																			
Relieve	Modificación del relieve																			
	Aumento del deslizamiento y derrumbes																			
Hidrología (Agua superficial y subterránea)	Afectación a las cuencas hidrográficas																			
	Modificación del comportamiento de variables meteorológicas																			
	Contaminación de las aguas fluviales																			
	Aumento de la sedimentación en los márgenes de los ríos																			
	Alteración de las condiciones de alimentación y descarga de las aguas subterráneas																			
Viales y tráfico terrestre	Incremento de la diversidad de la red vial y del tráfico terrestre por la construcción de caminos mineros																			
Recursos Naturales y energéticos	Aumento de los recursos de agua, combustible y electricidad																			
Vegetación y flora terrestres	Pérdida de la cobertura forestal en áreas por minar por el trazado de caminos mineros, terraplén del transportador del mineral																			
	Pérdida de material genético vegetal y germoplasma																			
	Pérdida de la capa vegetal																			
Fauna terrestre	Pérdida de las especies																			
	Migración (aves, mamíferos) y muertes (reptiles, anfibios, insectos)																			
Ente ecológico	Alteración de los ecosistemas																			

	naturales y desaparición de la microflora y microfauna												
Paisaje	Alteración de la calidad estética-visual del paisaje												
Agentes sociales (Población)	Afectación a la salud e integridad física de los trabajadores y habitantes												
	Alteración de la dinámica demográfica												
	Afectaciones en la población por la reubicaciones de sus viviendas												
Agentes Económicos (infraestructura económica)	Aumento de las demandas sociales												

3. Escriba a continuación los impactos ambientales que usted considera deban ser incluidos o eliminados en esta propuesta:

No	Impactos ambientales que deben ser incluidos
1.	
2.	
3.	
Impactos ambientales que deben ser eliminados	
1.	
2.	

**Muchas gracias.**

## ANEXO 5 MATRICES CAUSA – EFECTO

Tipificación de los impactos. Valoración cuantitativa y cualitativa		
Representación	Denominación y significado	Clasificación
CI	<p>Carácter del impacto (Efecto beneficioso, perjudicial o difícil de cualificar).</p> <p>Se refiere al efecto beneficioso (+) o perjudicial (-) de las diferentes acciones que van a incidir sobre los factores considerados. En casos específicos puede aplicarse un tercer carácter: previsible (difícil de cualificar o sin estudios específicos), que reflejarán efectos cambiantes difíciles de predecir o efectos asociados a circunstancias externas al proyecto, cuya naturaleza (beneficiosa o dañina) no puede precisarse sin un estudio global de las mismas.</p>	<p>(+) Positivo (Beneficioso)</p> <p>(-) Negativo (Dañino)</p> <p>(x) Previsto (difícil de cualificar sin estudios específicos)</p>
I	<p>Intensidad del impacto (Grado de afectación).</p> <p>Representa la cuantía o el grado de incidencia de la acción sobre el factor en el ámbito específico en que actúa. El valor 1 corresponde a la afectación mínima del valor considerado; el valor 12 representa una destrucción casi total del factor en cuestión en caso de producirse el efecto: el resto de los valores reflejan situaciones intermedias.</p>	<p>1 Baja</p> <p>2 Media</p> <p>4 Alta</p> <p>8 Muy Alta</p> <p>12 Total</p>

EX	<p>Extensión del impacto (Área que será afectada)</p> <p>Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto (% de área respecto al entorno en que se manifiesta el efecto)</p>	<p>1 Puntual (la acción impactante causa un efecto muy localizado)</p> <p>2 Parcial ( el efecto supone una incidencia apreciable en el medio)</p> <p>4 Extenso (el efecto se detecta en una gran parte del medio considerado).</p> <p>8 Total (el efecto se manifiesta de forma generalizada en todo el entorno).</p> <p>+4 Crítico (el impacto se produce en una situación crítica; característico de impactos puntuales; se atribuye un valor de 4 unidades por encima del que le correspondía).</p>
SI	<p>Sinergia (Reforzamiento de dos o más efectos simples).</p> <p>Este criterio contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples, pudiéndose generar efectos sucesivos y relacionados que acentúan las consecuencias del impacto analizado.</p>	<p>1 No sinérgico (cuando una acción actuando sobre un factor no incide en otras acciones que actúan sobre el mismo factor).</p> <p>2 Sinérgico (presenta sinergismo moderado).</p> <p>4 Muy sinérgico ( el impacto es altamente sinérgico).</p>
PE	<p>Persistencia (Permanencia del efecto)</p> <p>Refleja el tiempo en que supuestamente permanecería el efecto desde su aparición y a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones previas a la acción por medios naturales o por la introducción de medidas correctoras.</p>	<p>1 Fugaz (produce un efecto que dura menos de un año).</p> <p>2 Temporal (el efecto persiste entre 1 y 10 años).</p> <p>4 Permanente ( el efecto tiene una duración superior a los 10 años)</p>

EF	<p>Efecto (Relación Causa - Efecto)</p> <p>Representa la forma de manifestación del efecto sobre un factor como consecuencia de una acción, o lo que es lo mismo, expresa la relación causa - efecto.</p>	<p>D Directo o primario ( su efecto tiene una incidencia inmediata en algún factor ambiental, siendo la repercusión de la acción consecuencia directa de esta).</p> <p>I Indirecto o secundario ( su manifestación no es consecuencia directa de la acción, sino que tiene lugar a partir de un efecto primario actuando este como una acción de segundo orden.)</p>
MO	<p>Momento del impacto ( Plazo de manifestación).</p> <p>Alude al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el factor ambiental.</p>	<p>1 Largo plazo (el efecto demora en manifestarse más de 5 años).</p> <p>2 Mediano plazo ( el período de tiempo varía de 1 a 5 años)</p> <p>4 Corto plazo ( el tiempo entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto es menor de 1 año).</p> <p>+4 Crítico (si concurre alguna circunstancia crítica en el momento del impacto se le adicionan 4 unidades).</p>
MC	<p>Recuperabilidad ( posibilidad de introducir medidas correctoras, protectoras y de recuperación)</p> <p>Se refiere a la posibilidad de reconstrucción total o parcial del factor afectado como consecuencia del proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales (previas a la acción) por medio de la intervención humana (introducción de medidas correctoras, protectoras o de recuperación).</p>	<p>1 Recuperable de inmediato</p> <p>2 Recuperable a mediano plazo</p> <p>4 Mitigable ( el efecto puede recuperarse parcialmente)</p> <p>8 Irrecuperable ( alteración imposible de recuperar, tanto por la acción natural como por la humana).</p>

AC	<p>Acumulación (Incremento progresivo).</p> <p>Este criterio o atributo da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.</p>	<p>1 Simple (es el impacto cuyo efecto se manifiesta sobre un solo componente ambiental, o cuyo modo de acción es individualizado, sin consecuencia en la inducción de nuevos efectos, ni en la de su acumulación, ni en la de su sinergia).</p> <p>4 Acumulativo (es aquel efecto que al prolongarse en el tiempo la acción del agente inductor, incrementa progresivamente su gravedad, al carecer el medio de mecanismos de eliminación con efectividad temporal similar a la del incremento de la acción causante del impacto).</p>
RV	<p>Reversibilidad (Posibilidad de regresar a las condiciones iniciales por medios naturales)</p> <p>Hace referencia al efecto en el que la alteración puede ser asimilado por el entorno ( de forma medible, ya sea a corto, mediano o largo plazo) debido al funcionamiento de los procesos naturales de la sucesión ecológica y de los mecanismos de autodepuración del medio; o lo que es lo mismo, la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por el proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez que aquella deja de actuar sobre el medio.</p>	<p>1 Corto plazo ( retorno a las condiciones iniciales en menos de un año)</p> <p>2 Mediano plazo ( se recuperan las condiciones iniciales entre 1 y 10 años)</p> <p>4 Irreversible (imposibilidad o dificultad extrema de retornar por medios naturales a las condiciones iniciales, o hacerlo en un período mayor de 10 años).</p>
PR	<p>Periodicidad (Regularidad de manifestación del efecto)</p> <p>Se refiere a la regularidad de manifestación del efecto: de forma impredecible, de manera cíclica o recurrente o constante en el tiempo.</p>	<p>1 Irregular ( el efecto se manifiesta de forma impredecible)</p> <p>2 Periódica ( el efecto se manifiesta de manera cíclica o recurrente)</p> <p>4 Continua ( efecto constante en el tiempo)</p>

## **ANEXO 6 ENCUESTA DE LOS FACTORES AMBIENTALES Y CULTURALES PARA EL USO FUTURO**

Nombre y apellidos: \_\_\_\_\_

Institución a la que pertenece: \_\_\_\_\_

Cargo actual: \_\_\_\_\_

Calificación profesional, grado científico o académico:

Profesor: \_\_\_\_\_ Licenciado: \_\_\_\_\_ Ingeniero: \_\_\_\_\_ Especialista: \_\_\_\_\_ Máster:  
\_\_\_\_\_ Doctor: \_\_\_\_\_

Años de experiencia en la profesión: \_\_\_\_\_.

Años de experiencia docente y en la investigación: \_\_\_\_\_.

Como parte del tema de Tesis de Doctorado en Economía se necesita su colaboración para determinar la influencia que tienen los factores ambiental y culturales sobre el uso final que se propone en los yacimientos lateríticos de la Empresa Niquelífera Comandante Ernesto Che Guevara, para ello es necesario que responda a la pregunta realizada de la forma más coherente posible.

1) Seleccione y fundamente los criterios que usted considera más importantes por la incidencia en los usos futuros para el proceso de rehabilitación minera en los yacimientos lateríticos:

Presencia de flora y fauna

Relieve del terreno

Calidad del paisaje

Fertilidad del suelo

Pendiente del terreno

Calidad del agua

Erosión del suelo

Precipitación

Localización

Accesibilidad

Tamaño y forma del área

Uso del terreno en el entorno

Propiedad de los terrenos

Tipo e intensidad del uso

Características de la población

Limitaciones legales

2) Añada otros factores que usted considere deben tenerse en cuenta para los yacimientos lateríticos:

3) Valore la importancia de los parámetros elegidos teniendo en cuenta una escala de (valor 0 mínimo) hasta 1 (máximo valor).

Factores	Valor

**Muchas gracias.**

## ANEXO 7 CUESTIONARIO A EXPERTOS PARA LA VALIDACIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Nombre y apellidos: \_\_\_\_\_

Institución a la que pertenece: \_\_\_\_\_

Cargo actual: \_\_\_\_\_

Calificación profesional, grado científico o académico:

Profesor:\_\_\_\_\_ Licenciado:\_\_\_\_\_ Especialista:\_\_\_\_\_ Master:\_\_\_\_\_ Doctor:\_\_\_\_\_

Años de experiencia en el cargo: \_\_\_\_\_.

Años de experiencia docente y/o en la investigación: \_\_\_\_\_.

Como parte del tema de tesis de Maestría en Desarrollo Sustentable en la actividad minero-metalúrgica se necesita su colaboración para determinar la validez del procedimiento elaborado en la investigación, para ello es necesario que responda a la pregunta realizada de la forma más coherente posible.

1. Valore la importancia de los parámetros elegidos teniendo en cuenta una escala de (valor 0 mínimo) hasta 1 (máximo valor).

Criterios	Valor
El procedimiento está científicamente sustentado	
Sencillo y comprensible	
Flexible y dinámico	
Adecuado para la rehabilitación minera en los yacimientos lateríticos	
Reproducibile	
Congruente con las normativas ambientales	
Nivel de aprobación del procedimiento objeto de análisis	
Generalizable para su uso en otras regiones del país	

**Muchas gracias.**

## ANEXO 8 ENCUESTA PARA LA SEGUNDA RONDA

A continuación, le presentamos una tabla que contiene los criterios que determinan la validez del procedimiento elaborado. A la derecha aparece la escala:

MA: Muy adecuado

BA: Bastante adecuado

A: Adecuado

PA: Poco adecuado

I: Irrelevante

- 1- Marque con una X en la celda que se corresponda con el grado de relevancia que usted otorga a cada criterio.

Le agradecemos anticipadamente el esfuerzo que sabemos hará para responder, la presente encuesta con la mayor fidelidad posible a su manera de pensar.

Influencia de los criterios para determinar la validez del procedimiento					
	MA	BA	A	PA	I
El procedimiento está científicamente sustentado					
Sencillo y comprensible					
Flexible y dinámico					
Adecuado para la rehabilitación minera en los yacimientos lateríticos					
Reproducibile					
Congruente con las normativas ambientales					
Nivel de aprobación del procedimiento objeto de análisis					
Generalizable para su uso en otras regiones del país					

**Muchas gracias.**

## ANEXO 9 RESULTADOS DE LA SEGUNDA RONDA

### Anexo 9.1 Tabla de frecuencia absoluta

Influencia de los criterios para determinar la validez del procedimiento						
TABLA DE FRECUENCIA ABSOLUTA						
	MA	BA	A	PA	I	Total
El procedimiento está científicamente sustentado	16	6	2	0	0	24
Sencillo y comprensible	23	1	0	0	0	24
Flexible y dinámico	8	6	10	0	0	24
Adecuado para la rehabilitación en los yacimientos lateríticos	22	2	0	0	0	24
Reproducibile	23	1	0	0	0	24
Congruente con las normativas ambientales	24	0	0	0	0	24
Nivel de aprobación del procedimiento objeto de análisis	8	6	10	0	0	24
Generalizable para su uso en otras regiones del país	24	0	0	0	0	24

### Anexo 9.2 Tabla de frecuencia acumulada

Influencia de los criterios para determinar la validez del procedimiento					
TABLA DE FRECUENCIA ACUMULADA					
	MA	BA	A	PA	I
El procedimiento está científicamente sustentado	16	22	24	24	24
Sencillo y comprensible	23	24	24	24	24
Flexible y dinámico	8	14	24	24	24
Adecuado para la rehabilitación en los yacimientos lateríticos	22	24	24	24	24
Reproducibile	23	24	24	24	24
Congruente con las normativas ambientales	24	24	24	24	24
Nivel de aprobación del procedimiento objeto de análisis	8	14	24	24	24
Generalizable para su uso en otras regiones del país	24	24	24	24	24

### Anexo 9.3 Tabla del inverso de la frecuencia absoluta acumulada

Influencia de los criterios para determinar la validez del procedimiento				
TABLA DE FRECUENCIA ABSOLUTA ACOMULADA				
	MA	BA	A	PA
El procedimiento está científicamente sustentado	0,67	0,92	1	1
Sencillo y comprensible	0,96	1	1	1
Flexible y dinámico	0,34	0,58	1	1
Adecuado para la rehabilitación en los yacimientos lateríticos	0,92	1	1	1
Reproducible	0,96	1	1	1
Congruente con las normativas ambientales	1	1	1	1
Nivel de aprobación del procedimiento objeto de análisis	0,33	0,58	1	1
Generalizable para su uso en otras regiones del país	1	1	1	1

### Anexo 9.4 Tabla de determinación de los puntos de corte

	MA	BA	A	PA	Suma	Pro. Fil	N - Prom.
El procedimiento está científicamente sustentado	0,44	1,41	3,49	3,49	8,83	2,2075	-0,90609375
Sencillo y comprensible	1,75	3,49	3,49	3,49	12,22	3,055	-1,75359375
Flexible y dinámico	-0,41	0,2	3,49	3,49	6,77	1,6925	-0,39109375
Adecuado para la rehabilitación en los yacimientos lateríticos	1,41	0,2	3,49	3,49	8,59	2,1475	-0,84609375
Reproducible	1,75	3,49	3,49	3,49	12,22	3,055	-1,75359375
Congruente con las normativas ambientales	3,49	3,49	3,49	3,49	13,96	3,49	-2,18859375
Nivel de aprobación del procedimiento objeto de análisis	-0,44	0,2	3,49	3,49	6,74	1,685	-0,38359375
Generalizable para su uso en otras regiones del país	3,49	3,49	3,49	3,49	13,96	3,49	-2,18859375
Suma	11,48	15,97	27,92	27,92	83,29	20,8225	
Punto de corte (Prom. Columna)	0,7175	0,998125	1,745	1,745	5,205625	<b>N - Prom. 1,30</b>	

## Anexo 9.5 Conclusiones generales

CONCLUSIONES GENERALES					
	MA	BA	A	PA	I
El procedimiento está científicamente sustentado	SI	-	-	-	-
Sencillo y comprensible	SI	-	-	-	-
Flexible y dinámico	SI	-	-	-	-
Adecuado para la rehabilitación en los yacimientos lateríticos	SI	-	-	-	-
Reproducible	SI	-	-	-	-
Congruente con las normativas ambientales	SI	-	-	-	-
Nivel de aprobación del procedimiento objeto de análisis	SI	-	-	-	-
Generalizable para su uso en otras regiones del país	SI	-	-	-	-

### ANEXO 10 RESULTADOS DE LA TERCERA RONDA

	Ex 1	Ex 2	Ex 3	Ex 4	Ex 5	Ex 6	Ex 7	Ex 8	Ex 9	Ex 10	Ex 11	Ex 12	Ex 13	Ex 14	Ex 15	Ex 16	Ex 17	Ex 18	Ex 19	Ex 20	Ex 21	Ex 22	Ex 23	Ex 24	$S_i$	$S_{med}$	$(S_j - S_{med})$	$(S_j - S_{med})^2$
El procedimiento está científicamente sustentado	1	2	7	1	8	1	6	1	1	8	4	8	1	7	1	6	8	5	1	1	4	1	8	4	95	54	-41	1681
Sencillo comprensible y	6	7	6	4	7	6	5	6	3	2	5	2	6	6	4	3	7	4	3	2	7	8	6	2	117	54	-63	3969
Flexible dinámico y	5	8	2	6	2	4	7	2	4	7	3	6	3	2	2	7	2	8	5	8	8	7	1	1	110	54	-56	3136
Adecuado para la rehabilitación en los yacimientos lateríticos	2	1	8	2	1	8	2	7	2	1	2	7	2	8	8	2	1	2	8	7	1	4	2	8	96	54	-42	1764
Reproducible	3	3	1	5	6	5	8	5	6	5	7	5	5	4	6	5	5	6	6	5	5	6	3	3	118	54	-64	4096
Congruente con las normativas ambientales	8	6	3	8	4	3	3	4	8	4	1	4	4	3	3	8	3	7	4	4	3	3	5	5	108	54	-54	2916
Nivel de aprobación del procedimiento objeto de análisis	7	4	5	7	5	2	4	8	5	6	6	1	7	1	7	4	4	3	2	6	6	5	4	6	115	54	-61	3721
Generalizable para su uso en otras regiones del país	4	5	4	3	3	7	1	3	7	3	8	3	8	5	5	1	6	1	7	3	2	2	7	7	105	54	-51	2601
<b>Total</b>																									864			23884

**M=24**

**P=8**

## ANEXO 11 RESULTADOS DE LAS ETAPAS Y PASOS POR LOS EXPERTOS

Etapa	Paso	Grado científico	Muy adecuado	Bastante adecuado	Adecuado	Poco adecuado	Irrelevante
I	1	Doctor	10	-	3	-	2
		Master	6	-	1	-	-
		Especialista	1	-	-	-	-
		Ingeniero	1	-	-	-	-
	2	Doctor	15	-	-	-	-
		Master	7	-	-	-	-
		Especialista	1	-	-	-	-
		Ingeniero	1	-	-	-	-
	3	Doctor	15	-	-	-	-
		Master	7	-	-	-	-
		Especialista	1	-	-	-	-
		Ingeniero	1	-	-	-	-
II	1	Doctor	15	-	-	-	-
		Master	7	-	-	-	-
		Especialista	1	-	-	-	-
		Ingeniero	1	-	-	-	-
	2	Doctor	15	-	-	-	-
		Master	7	-	-	-	-
		Especialista	1	-	-	-	-
		Ingeniero	-	-	1	-	-

III	1	Doctor	15	-	-	-	-
		Master	7	-	-	-	-
		Especialista	1	-	-	-	-
		Ingeniero	1	-	-	-	-
IV	1	Doctor	14	-	1	-	-
		Master	6	-	1	-	-
		Especialista	1	-	-	-	-
		Ingeniero	1	-	-	-	-
	2	Doctor	14	-	1	-	-
		Master	6	-	1	-	-
		Especialista	1	-	-	-	-
		Ingeniero	1	-	-	-	-
V	1	Doctor	15	-	-	-	-
		Master	7	-	-	-	-
		Especialista	1	-	-	-	-
		Ingeniero	1	-	-	-	-
	2	Doctor	15	-	-	-	-
		Master	7	-	-	-	-
		Especialista	1	-	-	-	-
		Ingeniero	1	-	-	-	-
	3	Doctor	15	-	-	-	-
		Master	7	-	-	-	-
		Especialista	1	-	-	-	-
		Ingeniero	1	-	-	-	-

VI	1	Doctor	15	-	-	-	-
		Master	7	-	-	-	-
		Especialista	1	-	-	-	-
		Ingeniero	1	-	-	-	-
	2	Doctor	15	-	-	-	-
		Master	7	-	-	-	-
		Especialista	1	-	-	-	-
		Ingeniero	1	-	-	-	-
	3	Doctor	15	-	-	-	-
		Master	7	-	-	-	-
		Especialista	1	-	-	-	-
		Ingeniero	1	-	-	-	-
VII	1	Doctor	13	-	2	-	-
		Master	6	-	1	-	-
		Especialista	-	-	1	-	-
		Ingeniero	-	-	1	-	-
VIII	1	Doctor	15	-	-	-	-
		Master	7	-	-	-	-
		Especialista	1	-	-	-	-
		Ingeniero	1	-	-	-	-

**Total de expertos: 24**

**Doctores: 15**

**Master: 7**

**Ingeniero: 1**

**Especialista: 1**

**Docente: 15**

**Experiencia en la producción: 7**

**Trabajan directamente con el medio ambiente: 8**