



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Instituto de Ecología

LA RESTAURACIÓN DE MINAS SUPERFICIALES EN
MÉXICO: DIAGNÓSTICO Y PROPUESTAS.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL ORIENTADA A
LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA)

P R E S E N T A

CAROLINA JIMÉNEZ GONZÁLEZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. EMMANUEL RINCÓN SAUCEDO

México, D. F.

m: 349 411

Octubre, 2005.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: CAROLINA JIMENEZ GONZALEZ
 FECHA: 31 Oct 2005
 FIRMA: 

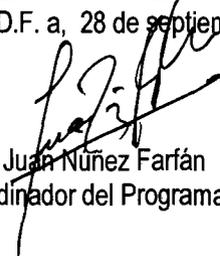
Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez
 Director General de Administración Escolar, UNAM
 Presente

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 22 de noviembre del 2004, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental) del(a) alumno(a) **JIMÉNEZ GONZÁLEZ CAROLINA** con número de cuenta 503007917 con la tesis titulada: **La restauración de minas superficiales en México: Diagnóstico y propuestas**, bajo la dirección del(a) **Dr. Emmanuel Rincón Saucedo**.

Presidente:	Dra. Silke Cram Heydrich
Vocal:	Dra. Alicia Enriqueta Brechu Franco
Secretario:	Dr. Emmanuel Rincón Saucedo
Suplente:	Dra. María Teresa Sánchez Salazar
Suplente:	Dra. María del Pilar Huante Pérez

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
 Cd. Universitaria, D.F. a, 28 de septiembre del 2005


 Dr. Juan Núñez Farfán
 Coordinador del Programa

c.c.p. Expediente del interesado

A mi familia.

AGRADECIMIENTOS

A los miembros de mi comité tutorial:

Dr. Emmanuel Rincón, Dra. Pilar Huante, Dra. Silke Cram, Dra. Alicia Brechu y Dra. Teresa Sánchez mi sincero agradecimiento por ser guías durante el desarrollo del presente trabajo; sus comentarios y observaciones fueron muy enriquecedores.

A Beatriz Flores Díaz y Ángela Ortiz Nava de la biblioteca del Servicio Geológico Mexicano: Les agradezco su orientación y ayuda paciente en la búsqueda de información sobre minas de México.

Al Ing. Francisco Escandón Valle, Director General del Servicio Geológico Mexicano, por facilitar parte del material bibliográfico necesario para elaborar el inventario de minas.

A Olivia Jiménez González y Joel Hernández Martínez: Por su ayuda y la paciencia que tuvieron en la elaboración de los mapas, mil gracias.

Al CONACYT y DGEP por financiar las becas que me permitieron realizar mis estudios y la presente tesis. Así mismo, agradezco a la fundación Packard el financiamiento de viajes durante la maestría.

INDICE

	Pág.
INDICE DE TABLAS	iii
INDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	v
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	10
<i>Capítulo I</i>	11
<i>Aspectos sociales y económicos de la minería México</i>	
La importancia de los minerales.....	11
La producción minera en México	14
El inventario de minas en México.....	17
La minería en las comunidades.....	26
Las empresas mineras en México.....	33
El desarrollo sustentable y la minería	35
Conclusiones.....	40
Bibliografía	42
<i>Capítulo II</i>	47
<i>Los impactos ambientales de la minería superficial</i>	
El impacto ambiental.....	47
La minería superficial.....	48
Los impactos ambientales de la minería superficial.....	52
Otros impactos	63
Factores de diseño e impactos ambientales.....	64
Conclusiones.....	70
Bibliografía.....	71
<i>Capítulo III</i>	
<i>La restauración de minas superficiales en las legislaciones ambientales internacional y nacional</i>	75
Parte I (ámbito internacional)	
Los países desarrollados.....	76
Los países en desarrollo	81
Los Convenios ambientales internacionales.....	84
Parte II (ámbito nacional)	
Planeación ambiental y ordenamiento ecológico del territorio.....	89
Evaluación de Impacto ambiental.....	92
Normas oficiales mexicanas.....	95
Autorregulación y auditorías ambientales.....	97

Instrumentos económicos.....	98
Otras leyes de carácter ambiental relacionadas.....	100
La restauración ecológica en la legislación.....	103
La legislación ambiental estatal.....	104
La ley minera	108
Conclusiones.....	112
Bibliografía	114
 <i>Capítulo IV</i>	 117
<i>Un esquema de restauración de minas superficiales</i>	
<hr/>	
Antecedentes de restauración de minas en México.....	119
Una planeación integral.....	122
Etapa I Adquisición de datos.....	123
Etapa II Generación de alternativas de diseño.....	133
Etapa III Evaluación de alternativas.....	137
Etapa IV Desarrollo del proyecto.....	138
Etapa V Cierre de la mina.....	139
Un esquema para minas abandonadas.....	140
Bibliografía.....	146
 <i>Discusión y Conclusiones</i>	 148

INDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.1	Cantidades e ingredientes minerales de diversos productos.	11
Tabla 1.2	Cantidad de productos fabricados al año en México que contienen minerales.....	11
Tabla 1.3	Usos de algunos minerales generalmente explotados a cielo abierto.....	13
Tabla 1.4	Ubicación mundial de México en la producción de minerales en 2003.....	14
Tabla 1.5	Principales Estados y municipios que extraen minerales no metálicos en México....	16
Tabla 1.6	Tajos en México.....	21
Tabla 1.7	Ventas netas anuales de los principales consorcios mineros en México.....	33
Tabla 2.1	Tipos de minado superficial.....	49
Tabla 2.2	Procesos físicos y biológicos involucrados en la sucesión.	56
Tabla 2.3	Estimaciones del uso del agua en la industria minero metalúrgica.....	58
Tabla 2.4	Cantidad de residuos mineros generados en el mundo.....	61
Tabla 2.5	Efectos económicos y sociales derivados de los impactos ambientales ocasionados por la minería superficial.....	66
Tabla 2.6	Efectos sobre los elementos ambientales debidos a la minería y sus factores determinantes	69
Tabla 3.1	Legislación ambiental aplicable a la minería en países desarrollados.....	77
Tabla 3.2	Objetivos de la planificación del cierre de minas en países desarrollados.....	79
Tabla 3.3.	Legislación ambiental aplicable a la minería en América latina.....	82
Tabla 3.4	Principales convenciones internacionales que influyen en el desarrollo de la minería.....	85
Tabla 3.5	La regulación ambiental mexicana dentro de las etapas del desarrollo de minas superficiales.....	91
Tabla 3.6	Leyes relacionadas con la regulación ambiental de la minería.....	100
Tabla 3.7	Estados con normatividad ambiental específica en materia de explotación de sustancias no concesibles.....	106
Tabla 3.8	Estructura sectorial del PIB (1960-1996).....	111
Tabla 4.1	Minas donde se han realizado trabajos de restauración.....	120
Tabla 4.2	Comparación de los costos de restauración ambiental en el Tajo San José.....	122
Tabla 4.3	Información ambiental requerida en un proyecto de restauración.....	126
Tabla 4.4	Información socioeconómica requerida en un proyecto de restauración de minas...	131
Tabla 4.5	Propósitos de los estudios ambientales y sociales en el diseño de minas superficiales.	134

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.1. Distribución de los porcentajes del valor de la producción minera en México en 2003.....	15
Fig. 1.2 Distribución del número de minas por sustancias en los Estados.....	18
Fig. 1.3 Comparación del número de minas en México según el COREMI y el INEGI, y porcentaje del número de minas por sustancias no metálicas.....	20
Fig. 1.4 Volúmenes de extracción de minerales no metálicos y ubicación de las minas...	22
Fig. 1.5 Distribución de las minas de sustancias no metálicas en los tipos de vegetación potencial de México.....	25
Fig. 1.6 Personal ocupado durante 1996-2000 por diferentes ramas de la minería	30
Fig. 2.1 Perfil esquemático de la ubicación de la mena, los elementos que se retiran para su extracción y las operaciones necesarias.	50
Fig. 2.2 Operaciones realizadas durante el desarrollo de minas superficiales.	51
Fig. 2.3 Factores considerados durante el diseño y la planeación de minas.	52
Fig. 2.4 Impactos ambientales derivados de las operaciones de descapote y minado	54
Fig. 2.5 Infraestructura asociada a las minas.....	63
Fig. 2.6 Volumen de residuos peligrosos generados por sectores en México.....	65
Fig. 2.7 Relaciones entre los recursos naturales, el medio social y los proyectos productivos.....	65
Fig. 2.8 El diseño de las minas determina los impactos ambientales y sociales, y al mismo tiempo puede prevenirlos o mitigarlos.....	68
Fig. 3.1 Distribución de la participación en inversión minera mundial proyectada (1998-2007).....	82
Fig. 3.2 Estructura de la legislación ambiental en México.....	88
Fig. 3.3 División de competencias en la legislación ambiental de la minería.....	105
Fig. 4.1 Esquema integral de restauración de minas superficiales.....	124
Fig. 4.2 Esquema de generación de opciones de diseño y alternativas de uso.....	136
Fig. 4.3 Esquema de evaluación de alternativas.....	137
Fig. 4.4 Esquema de restauración de minas abandonadas.....	143

RESUMEN

La Restauración de minas superficiales en México: Diagnóstico y Propuestas.

La minería es una actividad considerada como el primer eslabón de la cadena productiva y como tal, satisface una amplia variedad de necesidades. En el siglo XX, no sólo existió el típico sistema de minado subterráneo sino que inicia uno nuevo llamado superficial o a cielo abierto, que explota yacimientos minerales cercanos a la superficie con mayores volúmenes de producción y menor costo que el subterráneo. En México, la minería superficial se ha desarrollado desde la década de los cuarenta sin que hasta el momento se tenga el conocimiento básico sobre su impacto y cómo puede ser abordada la problemática que origina. Por tal razón, el objetivo del presente trabajo es elaborar un diagnóstico ambiental de la situación de las minas superficiales en México y emitir propuestas tendientes a su restauración.

Como legado de 500 años de actividad minera en México, resalta el hecho de que existe un alto número de minas subterráneas abandonadas y de los residuos que se han producido durante el beneficio de los minerales. Todo ello constituye un pasivo ambiental importante que no está bien determinado. Como resultado del inventario elaborado a partir de las monografías geológico mineras, se determinaron aproximadamente 5595 minas acumuladas dentro de 25 estados. Oaxaca (659), Chihuahua (648) y Sonora (483) son las entidades que poseen el mayor número de minas totales.

La minería superficial como la conocemos ahora, apenas tiene sesenta años desarrollándose en nuestro país y su impacto por la cantidad de minas es menor, no obstante puede esperarse un cambio paulatino hacia el desarrollo de este tipo de minado como ocurre en el mundo. Se estima que actualmente el 94% del total son minas superficiales de elementos no metálicos (NM) que extraen en su mayoría arena, grava, mármol, ónix y calizas. Los Estados en que se espera mayor área deteriorada son el Estado de México, Coahuila, Jalisco, Distrito Federal, Hidalgo y Baja California sur. El número de minas superficiales de elementos metálicos es mucho menor comparado con los no metálicos, y se distribuyen principalmente en el norte del país en estados como Sonora y Coahuila. Las minas superficiales se establecen en gran medida sobre tres tipos de vegetación: matorral xerófilo, bosque de coníferas y encinos, y bosque tropical caducifolio.

Las consecuencias ambientales del minado superficial pueden verse en el drástico cambio que sufre el paisaje, pues grandes extensiones de tierra pierden totalmente no sólo la cobertura vegetal sino el suelo para realizar excavaciones profundas. Al mismo tiempo la remoción de la roca que se encuentra por encima de aquella que tiene el mineral de interés en cantidad económicamente viable, produce gran volumen de residuos que tienen que disponerse en otros lugares que igualmente impactan, en algunos casos se originan problemas de drenaje ácido que da lugar a la contaminación por metales; además de lo anterior, se afecta la

calidad y cantidad del agua superficial y subterránea. Las operaciones antes descritas desencadenan una secuencia de cambios ambientales que conducen a la pérdida de la productividad que a su vez afecta las comunidades con mayor dependencia sobre sus recursos naturales renovables. Esta situación también puede manifestarse en la salud de los pobladores y en la capacidad productiva de las zonas degradadas. Otros problemas de carácter social surgen debido a la ausencia de oportunidades de desarrollo en las localidades mineras como consecuencia de las condiciones en que puedan afectarse los recursos agua, suelo, flora y fauna cuando concluye la actividad. En otros casos la minería compite por el uso de suelo, como sucede con la protección ambiental en las Áreas Naturales Protegidas.

Como resultado de las presiones económicas que genera la legislación ambiental en los países desarrollados, América Latina y en consecuencia México, son susceptibles del arribo de empresas mineras extranjeras. Dicha situación la ha convertido en la principal región minera del mundo. Los mecanismos legales con los que cuenta México para proteger el ambiente y asegurar la restauración de las minas superficiales son prácticamente nulos. El procedimiento de evaluación de impacto ambiental puede establecer como medida de mitigación la restauración del lugar, lo cual es discrecional y no asegura un cierre adecuado en todos los casos, además no existen los mecanismos financieros que permitan asegurar la restauración, salvo en cuando se liberen sustancias tóxicas, persistentes y bioacumulables. En el ámbito de la competencia estatal, la regulación sobre la restauración de minas de sustancias no concesibles (materiales pétreo) es heterogénea con relación a su especificidad, sólo seis entidades cuentan con reglamentaciones explícitas para la minería superficial de estas sustancias.

No obstante, la restauración de minas superficiales en México se ha efectuado por las grandes corporaciones mineras, quienes tienen la capacidad económica para llevarla a cabo; los ejemplos se localizan en: Coahuila, Estado de México, Guerrero, Jalisco, Morelos, Puebla, Querétaro y Veracruz. Los costos que esto ha representado se calculan entre uno y dos millones de dólares por mina y más de cinco años en concluirla aun cuando no aparecen indicadores claros de que se han alcanzados los objetivos.

El escenario que rodea a la restauración de minas superficiales es complejo, no se trata sólo de atender los aspectos técnicos sino de entender la problemática social y económica involucrada para ser capaces de proponer un proyecto de restauración que responda a una visión de desarrollo sustentable de las comunidades afectadas. Todo ello involucra proteger la biodiversidad, recuperar la calidad de los componentes ambientales (agua, aire, suelo) para recobrar la productividad de la zona afectada además de prevenir impactos en la salud de las poblaciones.

El esquema de restauración de minas superficiales para nuevos proyectos, presentado en este trabajo, propone la anticipación a los impactos ambientales mediante la incorporación y ampliación de aspectos ambientales dentro de los factores de diseño de las minas. Además incorpora la dimensión social a través de

la caracterización de las comunidades afectadas y del ordenamiento del territorio para presentar alternativas de uso final y crear acuerdos concensados. Al integrar las variables ambientales, sociales y del proyecto dentro del diseño y planeación de las minas, se pueden internalizar los costos ambientales y al mismo tiempo contribuir con el desarrollo de las comunidades. Sin embargo, para lograr la implementación del esquema debe existir una legislación clara que no deje espacio a la discrecionalidad al respecto, e instrumentos económicos como el uso de seguros o garantías para asegurar el cumplimiento del plan de restauración. Así mismo, la participación de los órganos del gobierno del ámbito social ayudaría a conformar comunidades que sobrevivan más allá del cierre de las minas. Con relación a las minas abandonadas, existe poca información sobre su ubicación extensión y situación; uno de los principales obstáculos para restaurar estas minas es la ausencia de financiamiento.

“La generosidad de la Tierra es la verdadera medida de la riqueza de una sociedad pero, ¿cuán profundo debemos cavar para mantener el éxito humano?”

Mike Fay

INTRODUCCIÓN

El deterioro que han sufrido los ecosistemas en el mundo se manifiesta como la pérdida de áreas forestales, de suelo, de la biodiversidad; la contaminación del agua, atmósfera y suelo; la reducción de mantos acuíferos subterráneos así como la disminución en la cantidad y calidad del agua potable. Estas circunstancias obedecen a la acelerada extracción de recursos naturales mediante la aplicación del desarrollo tecnológico a los procesos productivos para satisfacer las necesidades de un número cada vez mayor de personas en el mundo (Bradshaw y Chadwick, 1980; Carabias, 1988; Ehrlich, 1988; Throop, 2000).

Las marcas que ha dejado el deterioro ambiental en los paisajes terrestres son evidencia clara de cómo el ser humano es capaz de modificar y ejercer presión sobre su medio ambiente; sin embargo, es menos claro y aceptado que las condiciones de degradación del ambiente implican la alteración de las funciones que cumplen los ecosistemas a diferentes escalas de tiempo-espacio y, que en última instancia afectan el desarrollo de las sociedades humanas.

La minería superficial es una de las actividades productivas que satisface la demanda de diversas materias primas y al mismo tiempo constituye una de las industrias más agresivas por la intensidad de perturbaciones que origina en los ecosistemas. El grado de deterioro en las minas superficiales puede ser tal que no existe regeneración natural o bien que tarde siglos y los daños pueden ser irreparables, lo que significa la declinación o pérdida de la capacidad de los ecosistemas para recuperar sus características y funciones (Meffé y Carroll, 1994; Bradshaw, 1997; Dobson *et al.*, 1997).

Sustentabilidad, restauración y minería

El deterioro ambiental es la consecuencia de la innegable relación que existe entre las sociedades humanas y los ecosistemas cuando la tasa de destrucción ecológica rebasa a la de reparación. Así, en algún momento los ecosistemas no podrán proveer adecuadamente los bienes y servicios que las sociedades necesitan. Ante esta problemática surgieron las políticas ambientales tendientes a lograr el desarrollo sustentable.

El Informe Brundtland (WCED, 1987) definió al desarrollo sustentable como aquél que permite la satisfacción de las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Ello implica que la sociedad y el ambiente son concebidos como condiciones igualmente importantes e interdependientes de la sustentabilidad (Borghesi y Vercelli, 2003)

Sin embargo, en una interpretación textual de la definición, el problema es que existe incertidumbre sobre cuáles serán las necesidades futuras y por lo tanto hasta que punto la satisfacción de las necesidades presentes compromete a las futuras. Si bien no existe un consenso sobre es que es exactamente la sustentabilidad, generalmente se entiende que la meta es conseguir un sistema que sobreviva indefinidamente y en buenas condiciones, aunque la evaluación sólo pueda hacerse en retrospectiva (Costanza *et al.*, 1999).

Al ser una actividad temporal, la minería no es sustentable. Los minerales son recursos no renovables, por lo que al agotar un yacimiento se necesita buscar y explotar otros. Esto significa por un lado, la disminución en las reservas minerales y por otro, la degradación ambiental producida por el abandono de cada mina que imposibilita el desarrollo de otras actividades productivas o usos en las zonas de extracción (Bradshaw y Chadwick, 1980).

El uso de los recursos naturales esta ligado directamente con la dependencia que el estado del ambiente puede tener sobre las actividades humanas, y por tanto, de las estructuras socioeconómicas. Por tanto, la degradación ambiental tiende a empeorar las condiciones de pobreza en las zonas donde suele desarrollarse la minería, especialmente si la población local ve en los recursos naturales su única fuente de ingresos. Dicha circunstancia, a su vez conduce a la explotación aún mayor de los recursos naturales para asegurar la sobrevivencia día a día (Borguesi y Vercelli, 2003).

Hasta antes de la creación de leyes ambientales en el mundo, los proyectos de minería superficial se realizaron sin prevención y reparación alguna de los daños, de esta manera se generaron los pasivos ambientales de la minería. No obstante, la restauración ecológica provee de un conjunto de herramientas para acelerar la recuperación de las tierras degradadas como es el caso de la minería superficial (Dobson *et al.*, 1997). En este sentido, la restauración ecológica es un componente importante para lograr la sustentabilidad en la minería pues ofrece la posibilidad de cerrar un ciclo en el que se degrada la tierra, cuando ésta regresa a una condición productiva, particularmente donde no se desarrollaron actividades de prevención (Fig.1).

No obstante, aún cuando se apliquen medidas preventivas contra los daños ambientales, el desarrollo de nuevos proyectos mineros superficiales supone el deterioro ambiental derivado de las operaciones que se realizan para extraer los minerales. En consecuencia, la restauración de los ecosistemas deteriorados es una tarea necesaria para que éstos puedan seguir prestando bienes y servicios ambientales, conservando la biodiversidad y/ o emplearlos en actividades como la agricultura, ganadería o algún otro uso (Cairns, 2000).

Bajo esta concepción, es necesario plantear estrategias de largo plazo que consideren por un lado el desarrollo de la industria minera para continuar satisfaciendo las necesidades que demanda la sociedad, y por el otro, el impulso de medidas que permitan la protección del ambiente y la subsistencia de los pueblos mineros cuando terminan las operaciones, es decir, convertir la minería en una actividad sustentable.

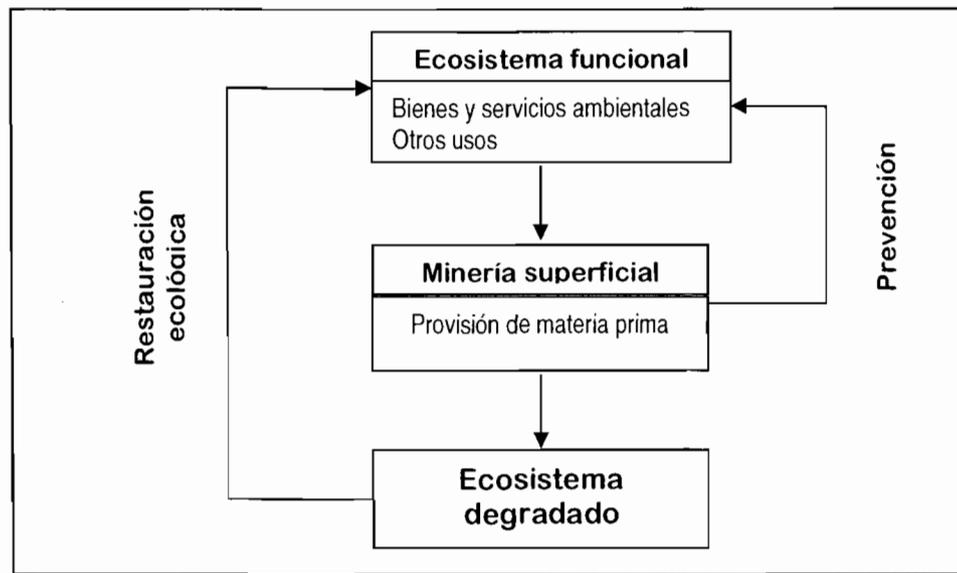


Fig. 1. Esquematación del papel de la RE para lograr la sustentabilidad.

La restauración ecológica

Se han elaborado diversas definiciones de restauración ecológica (RE), por ejemplo: "es el proceso de reparar el daño causado por los humanos hacia la diversidad y dinámica de los ecosistemas nativos" (SER, 1994), "la restauración consiste en la recuperación total del ecosistema original" (Bradshaw, 1990), "el proceso de alterar intencionadamente un sitio para establecer un ecosistema histórico nativo definido" (Aronson *et al.*, 1993), entre otros.

En general, las definiciones han girado en torno a la determinación de las metas u objetivos que persigue. Esto ha generado discusiones sin que hasta el momento se haya elaborado una definición universal (Ehrenfeld, 2004).

Las metas que se han fijado para la RE se han hecho con base en el desarrollo teórico de la ecología, en particular de la sucesión de comunidades (Martínez, 1996). Así, conforme un nuevo paradigma que explica la sucesión reemplaza a otro, las ideas sobre cómo y hacia dónde conducir la RE se han visto modificadas (MacMahon, 1997). Por ejemplo, las teorías del "balance de la naturaleza" actualmente están siendo reemplazadas por la idea de "la naturaleza en flujo" (Pickett y Parker, 1994).

De acuerdo con la idea del "balance de la naturaleza", los ecosistemas tienden hacia un solo estado que está en persistente equilibrio con el clima u otros elementos y que da como resultado una asociación estable y autopertpetuable llamada clímax; lo que significa que son sistemas cerrados, regulados internamente y relativamente estáticos cuando no hay perturbación. Esto implica para la RE, que la trayectoria se debe trazar hacia el estado clímax o el ecosistema original, donde la diversidad y estabilidad estaban maximizados (Wyan et al, 1995; Jackson et al 1995; McIntosh, 1999).

Bajo éstas ideas, surgieron varios términos relacionados con la restauración ecológica, por ejemplo:

- 1) Reclamación, el proceso por el que las áreas abandonadas o muy degradadas son retomadas hacia una forma productiva, lo cual no implica el retorno a un esta original, sino útil (Bradshaw, 1997).
- 2) Rehabilitación, la acción de recuperar algunos elementos funcionales o estructurales del sitio (Bradshaw y Chawdick, 1980).
- 3) Revegetación, busca que el sistema regrese por si solo a su estado original manejando algunos procesos para permitir que el sistema contribuya a su recuperación (Meffé y Carroll, 1994).

La definición de cada uno de los términos arriba descritos esta determinado con relación al grado de parecido funcional y estructural del ecosistema original, por lo que pueden ser vistos como un continuo de resultados, desde la menor hasta la mayor similitud con el estado clímax, donde la reclamación y la restauración conformarían los extremos de similitud.

A diferencia de la idea del balance, la "naturaleza en flujo" considera a los sistemas naturales pasados y presentes, como un producto transitorio de una única e irrepetible secuencia de cambios climáticos e invasiones bióticas, sujetos a continuas perturbaciones que los inducen a transiciones discontinuas e irreversibles. Además, los ecosistemas son concebidos como abiertos, influenciados fuertemente por procesos externos a sus límites, capaces de alcanzar cualquiera de diferentes rutas sucesionales, no de una sola (Pickett y Parker, 1994).

Para la restauración ecológica, el paradigma de la naturaleza en flujo ha significado que la selección de una condición histórica específica (ecosistema original o clímax) no es necesariamente deseable o aún una meta alcanzable por la RE porque los ecosistemas no son estáticos (Wyan et al, 1995). Por lo anterior, se ha enfatizado más en la restauración del funcionamiento de los procesos y del potencial biológico, que en la composición de los ecosistemas.

Al reconocer explícitamente la naturaleza dinámica de los ecosistemas, se abre un abanico de posibles estados ecológicos, no de uno solo; y al mismo tiempo la

terminación del estado hacia el cual conducir la restauración se vuelve un asunto de suma importancia. Pfadenhauer y Grootjans (1999) consideran que bajo esta óptica, los objetivos en un proyecto de restauración deberían enfocarse en las características deseadas para el sistema en el futuro más que con relación a lo que fueron en el pasado. De esta manera, en la definición de lo que es deseable caben no sólo los aspectos aceptables desde el punto de vista ecológico, sino también desde el punto de vista social.

De hecho, se reconoce que el éxito de un proyecto de restauración depende en gran medida de la inclusión de aspectos no sólo técnicos y biológicos, sino históricos, culturales, políticos, estéticos y morales (Jackson et al, 1995; Higgs, 1997; van Diggelen *et al.*, 2001); la omisión de éstos aspectos induce conflictos en poblaciones impactadas seriamente por los proyectos (Light y Higgs, 1996; Swart *et al.*, 2001). Por lo tanto, los objetivos de los proyectos necesitarán ser determinados buscando que el potencial ecológico de restauración y las necesidades sociales coincidan. En suma, debe considerarse que los objetivos de los proyectos de restauración sean socialmente viables (Cairns, 2000).

Hoy en día, la restauración ecológica no puede concebirse sólo como un asunto de carácter técnico y científico, las implicaciones sociales que rodean la restauración de las áreas degradadas, la convierten en una forma de manejo diseñada y ejecutada en ámbitos como las agencias de gobierno, comunidades rurales y organizaciones no gubernamentales (Hobbs y Harris, 2001).

Wyan et al (1995) incluye los aspectos antes mencionados y propone una definición operacional de la restauración ecológica que comparte el presente trabajo, la cual comprende:

1. La identificación de valores ecológica y socialmente deseables, de bienes y servicios determinados a través de mecanismos de participación científica y pública.
2. La identificación de los elementos funcionales y estructurales esenciales para que el sistema encargado de proporcionar los valores identificados sea autosustentable.
3. La facilidad para recuperar el ecosistema hacia un estado autosostenible mediante la manipulación de elementos físicos, biológicos, químicos así como sociales o culturales del sistema.

Así, mientras la restauración ecológica (ecological restoration) se entiende como una forma de manejo, la ecología de la restauración (restoration ecology) se define como la disciplina científica que desarrolla y pone a prueba el cuerpo teórico de la ecología para reparar ecosistemas dañados.

El ambiente y la minería en México

Nuestro país tiene una larga tradición minera que data de tiempos prehispánicos (Coll-Hurtado *et al.*, 2002). Durante el desarrollo histórico de esta actividad, se han utilizado diferentes técnicas para extraer los minerales y se han producido diversos impactos en el ambiente.

Durante la Colonia, los impactos ambientales se produjeron por la construcción de caminos, la tala de árboles para obtener la madera utilizada como combustible y en la construcción de las instalaciones mineras. Al mismo tiempo, se impulsó la creación de campos agrícolas y ganaderos para satisfacer a los pueblos mineros. En el periodo de independencia, la minería quedó prácticamente paralizada y esto probablemente redujo la presión sobre el ambiente (Sánchez –Mejorada, 1999; Coll-Hurtado *et al.*, 2002).

En la época del Porfiriato, el ambiente sufrió presiones derivadas de las innovaciones tecnológicas como fue la introducción de la cianuración, una técnica agresiva con el ambiente para facilitar el tratamiento de minerales con bajas leyes a menor costo (Coll-Hurtado *et al.*, 2002). Otra fuente de presión para el ambiente fue el establecimiento de numerosas compañías mineras extranjeras (Sánchez - Mejorada, 1999).

En los años cuarenta se introdujo en México el minado por tajos o a cielo abierto, una nueva forma de explotar yacimientos de baja ley de forma superficial y de gran escala. La primera explotación de éste tipo se realizó en Cananea Sonora para extraer cobre, y llegó a convertirse en una de las minas más modernas y eficientes de su tiempo (Ayala, 1999), pero también en uno de los lugares más degradados por la minería en la actualidad.

El conocimiento que se tiene sobre la magnitud de los impactos ambientales producidos por la minería en general y por la superficial en particular durante los 500 años de historia minera en México es escaso. Así mismos, son prácticamente inexistentes los estudios relacionados con el manejo de los impactos ambientales producidos por la minería superficial, sobre todo en lo referente a la etapa de cierre.

Por ejemplo, Jaramillo (1984) realizó una monografía que describe de manera fragmentada los impactos ambientales de la minería, sin atender o distinguir las interacciones entre los impactos. Así mismo, es evidente el déficit de elementos técnicos en las Manifestaciones de Impacto Ambiental para llevar a cabo las medidas de prevención, mitigación y la forma en cómo proceder a restaurar el sitio degradado por la minería superficial.

Ante ésta falta de información, surge la necesidad de elaborar un diagnóstico sobre la situación ambiental de las minas superficiales en México como base para diseñar estrategias y emitir propuestas encaminadas a su restauración.

Bibliografía

- Ayala, R. 1999. Primer centenario del complejo minero metalúrgico de Cananea 1899-1999. Mundo Minero.
- Barragán, J. M. 1994. *Antología Minera de México*. Secretaría de Energía e Industria Paraestatal. México. 183pp.
- Borghesi, S. y A. Vercelli. 2003. "Sustainable globalization". *Ecological economics*. 44:77-89.
- Bradshaw, A. D. y M. J. Chadwick. 1980. *The restoration of land*. Blackwell scientific publications. Oxford.
- Bradshaw, A.D. 1997. "The importance of soil ecology in restoration science". In *Restoration ecology and sustainable development*. (Urbanska, K.M., Webb, N. y P.J. Edwards editors). Cambridge University Press. United Kingdom. Pp 33-64
- Bradshaw, A.D. 1997. "What do we mean by restoration?" *En Restoration ecology and sustainable development*. (Urbanska, K.M., Webb, N. y P.J. Edwards editors). Cambridge University Press. United Kingdom. Pp 33-64
- Brown, S. y A. Lugo. 1994. "Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining development". *Restoration ecology*. 2(2):97-111.
- Cairns, Jr. 2000. "Setting ecological restoration goals for technical feasibility and scientific validity". *Ecological engineering*. 15:171-780.
- Carabias, J. 1988. "Deterioro ambiental en México". *Ciencias*. No. 13-19.
- Coll-Hurtado, A., Sánchez-Salazar, M. T. y J. Morales. 2002. *La minería en México*. Instituto de Geografía UNAM. México. 126pp.
- Dobson, A., Bradshaw, A. y A.J.M. Baker. 1997. "Hopes for the future: restoration ecology and conservation biology". *Science*. 277:515-522.
- Ehrenfeld, J. G. 2000. "Defining the limits of restoration: the need for realistic goals". *Restoration ecology*. 8(1): 2-9.
- Ehrlich, P.R. 1988. "The lows of diversity: causes and consequences". In Wilson, E.O. y F. M. Peter (editors). *Biodiversity*. Pp. 21-27. National academic press. Washington, D.C.
- Higgs, E. S. 1997. "What is good ecological restoration?" *Conservation biology*. 11:338-348.
- Hobbs, R. y J. Harris. 2001. "Restoration ecology: repairing the Earth's ecosystems in the new millennium". *Restoration ecology*. 9(2):239-246.
- Jackson, L., Lopourine, N. y D. Hillyard. 1995. "Ecological Restoration: A definition and comments". *Restoration Ecology*. 3(2):71-75.
- Jaramillo, J. N. 1984. Monografía BI Identificación y Caracterización de los Impactos ambientales significativos generados por la explotación de yacimientos minerales metálicos y no metálicos. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Dirección General de Ordenamiento Ecológico e Impacto Ambiental. México.
- Jordan, W.R., Gilpin, M.E. y J.B. Aber. 1987. "Restoration ecology: ecological restoration as a technique for basic research" p. 3-21. En Jordan

- W.R., Gilpin M.E. y J.B. Aber. (editores) 1987. *Restoration ecology: a synthetic approach to ecological research*. Cambridge university press, Cambridge, England, 342 pp.
- Light, A., y E. S. Higgs. 1996. "The politics of ecological restoration". *Environmental ethics*. 18:227-248.
 - MacMahon, J. A. 1997. "Ecological restoration". Pág 479-511. En Meffé, G.K. y R. C. Carroll (editores) *Principles of conservation biology*. Sinauer association Inc. Massachusetts.
 - Martínez, E. 1996. "La restauración ecológica". *Ciencias*. 43:56-61.
 - McIntosh, R. P. 1999. "The succession of succession: a lexical chronology2". *Bulletin of the ecological society of America*. 2:256-265.
 - Meffé G.K y C.R. Carroll, 1994. *Principles of conservation biology*. Sinauer associates. Inc. Massachusetts
 - Pfofenhauer, J. y A. Grootjans.1999. "Wetlands restoration in central Europe: aims and methods". *Applied vegetation science*. 2:95-106.
 - Pickett, S. T. A. y V. T. Parker. 1994. "Avoiding the old pitfalls: opportunities in a new discipline". *Restoration ecology*. 2:75-79.
 - Sánchez-Mejorada, P. 1999. "La minería en México, desde la Independencia hasta la mexicanización". *Minería Camimex*. 9(3):33.
 - Swart, J., van der Windt, H. y J. Keulartz. 2001. "Valuation of nature in conservation and restoration". *Restoration ecology*. 9(2):230-238.
 - Troop, W. 2000. *Environmental restoration: ethics, theory and practice*. Humanity books. U.S.A.
 - Van Diggelen, R., Grootjans, A. y J. A. Harris. 2001. "Ecological restoration: state of the art or state the science". *Restoration ecology*. 9(2):115-118.
 - WCED (The world commission on environment and development). 1987. *Our common future*. Oxford University Press.
 - Wyant, J., Meganek, R. y S. Ham. 1995. "A planning and decision-making framework for ecological restoration". *Environmental management*. 19 (6):789-796.

GENERAL:

Elaborar un diagnóstico ambiental de las minas superficiales en México y realizar propuestas tendientes a su restauración.

Los objetivos específicos son:

1. Identificar, ubicar y contabilizar las minas superficiales en México.
2. Elaborar un mapa de minas superficiales en México.
3. Analizar los impactos ambientales de la minería superficial.
4. Documentar casos previos de restauración de estas minas en México.
5. Identificar las leyes ambientales aplicables a la restauración de minas superficiales.
6. Contextualizar la normatividad ambiental mexicana en minería superficial dentro de la legislación internacional.
7. Definir los impactos socioeconómicos de la minería en México
8. Presentar un esquema de restauración para las minas superficiales.
9. Mostrar las circunstancias que determinan el desarrollo de proyectos de restauración de minas superficiales en México.

CAPITULO I
ASPECTOS SOCIALES Y
ECONÓMICOS DE
LA MINERÍA EN MÉXICO

1 LA IMPORTANCIA DE LOS MINERALES

Un sin fin de productos que se usan a diario provienen de la minería. Las diversas demandas de materia prima son resueltas por esta industria. Así, la minería satisface necesidades de forma directa o indirecta. En el primer caso, la sociedad se beneficia de la producción de minerales a través del empleo, en el segundo, la producción de energía –proveniente de la combustión del carbón- que permite alumbrar las casas y utilizar aparatos eléctricos cuyos componentes igualmente provienen de la minería.

La importancia de la minería radica en extraer las múltiples sustancias que se requieren para satisfacer las necesidades de la población, desde los complementos vitamínicos hasta los materiales para la construcción de edificios y medios de transporte. Lee (1999) presenta algunas cifras que ilustran la presencia y necesidad de los minerales en la vida cotidiana (Tabla 1.1).

Tabla 1.1 Cantidades e ingredientes minerales de diversos productos.
Las cifras corresponden sólo a Estados Unidos (Elaborado a partir de Lee, 1999)

Producto	Cantidad usada (día)	Ingredientes minerales.
Baterías de autos	150'000 piezas	Plomo
Botellas de vidrio	120 millones	Arena silica y trona.
Cemento	187'000 Ton	Calizas
Focos	3.6 millones piezas	Tungsteno, trona, arena silica, cobre, aluminio
Pasta dental	236 Ton	Carbonato de calcio, zeolita, trona, arcillas, sílice.
Pinturas	3 millones galones	Titanio, hierro, mica, silica
Placas de rayos X	650'000 piezas	Plata, plomo, iodide
Plate y vidrio	90 Ha	Sílice (silica) y trona

En México, la producción de algunos productos que contienen o usan minerales durante el proceso de fabricación se muestra en la tabla 1.2, los datos presentados corresponden a la producción total del año 2000.

Tabla 1.2 Cantidad de productos fabricados al año en México que contienen minerales.
Elaborado a partir de INEGI, 2000. Encuesta Industrial Mensual, resumen anual

Producto	Cantidad producida (año 2000)	Ingredientes minerales.
Muebles de cerámica para sanitarios	7'511'934 piezas	Yeso o áljez

Producto	Cantidad producida (año 2000)	Ingredientes minerales.
Envases de vidrio	7'576'496 miles de piezas	Arena sílica y trona.
Cal	3'710'148 ton	calizas
Tabicón de concreto	13'533'219 piezas	Calizas, diatomita, yeso
Postes de alumbrado	81'055 piezas	Calizas, diatomita, yeso
Cerillos y fósforos	69605 Mill. De luces	Diatomita
Películas y placas fotográficas	31 278 miles de m ²	Plata, plomo
Anillos de oro	252'983 g	Oro
Cadenas de plata	8'330'909 g	Plata
Colores y pinturas	463'398 Kg	Diatomita
Talco perfumado	18'935 miles de piezas	Talco
Pastas dentríficas	39'613 ton	Calcita y aragonita, fosfatos de Ca, Na y amonio, zeolita, trona, arcillas y sílice.

El crecimiento de la población mundial, junto con el mejoramiento de la calidad de vida en muchos países y la aparición de nuevos usos para los minerales, aceleró el ritmo de explotación. Lo anterior se vio facilitado en parte por los avances tecnológicos que permiten una extracción más eficiente y a menor costo.

Probablemente la demanda de productos minerales aumente con el crecimiento de la población y del ingreso real *per capita*. Un componente importante es la población de los países en desarrollo de quienes se espera una estabilización demográfica entre los 50 y 100 años próximos. Para el año 2050 se proyecta que la población mundial alcance los 9.3 mil millones aproximadamente¹.

Se cree que el crecimiento de la población y del ingreso, principalmente en los países en desarrollo con uso intensivo de metales, tendrán importantes ramificaciones para la demanda de minerales y estimulará métodos más eficientes de producción, uso y reciclaje (MMSD, 2002).

Muchas sustancias minerales de importancia y cuya demanda puede incrementarse conforme la población crezca y aumente el ingreso *per cápita*, se extraen por lo general a cielo abierto. Este tipo de minado parece incrementarse debido a cuestiones económicas. Las compañías trabajan preferentemente en lugares con yacimientos superficiales que se explotan bajo este minado para disminuir costos de la explotación, además los volúmenes de producción obtenidos en la minería a cielo abierto siempre son superiores a los procedentes de la minería subterránea (Arvizu, 1997); hoy en día, mediante la minería superficial también se explota a los yacimientos minerales cada vez más profundos, diseminados y de baja ley. Así, se espera un cambio paulatino del

¹ Proyección de la variante media de la División de Población del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, Naciones Unidas.

minado subterráneo por el superficial, debido a que con mayor frecuencia se encuentran yacimientos mineros en tales las condiciones.

Actualmente, el promedio mundial de carbón mineral extraído por métodos de explotación al cielo abierto es del 40%, en Australia llega a ser del 70% y en Estados Unidos es del 50%. En Latinoamérica este minado es común, pues el carbón extraído mediante tajos en países como Colombia y Venezuela llega a ser aproximadamente del 100% (Whitworth, 1993).

Minerales como la calcita, el talco, la dolomita, la montmorillonita, la diatomita, la arena, asbesto entre otros generalmente se explotan de manera superficial (a cielo abierto). La tabla 1.3 muestra algunos ejemplos de los usos que se les dan.

Tabla 1.3. Usos de algunos minerales generalmente explotados a cielo abierto (COREMI, 1993).

Sustancia	Usos
Calcita y Aragonita	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Agente neutralizante en agricultura, farmacia, tratamiento de agua ▶ En mezclas para aislar tubería y calderas de vapor ▶ Fabricación de polvo decolorante, amonio, carburo de Ca, fertilizantes, alfarería, cal de construcción, insecticidas, y funguicidas ▶ Fundente en las acerías. ▶ Pastas dentífricas ▶ Piedra de construcción ▶ Pigmentos (blanco de españa, blanco de parís, blanqueo, papel) ▶ Prismas de nicol en microscopios ▶ Sustancia mineral nutritiva (ganado)
Diatomita	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Agregados en asfaltos ▶ Aislantes ▶ Concretos ▶ Cosméticos ▶ Limpiadores industriales y domésticos ▶ Pigmentos, insecticidas, cerillos ▶ Pinturas, esmaltes, barnices, lacas, papel y pulidores ▶ Recubrimiento de electrodos ▶ Vehículos catalizadores
Dolomita	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Abrasivo ▶ Construcción ▶ Fertilizantes (Mg) ▶ Pinturas y pigmentos ▶ Químico (manufactura de cromato, refinación de azúcar)
Fosfatos de Ca, Na y amonio	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Alimento para ganado ▶ Dentríficos ▶ Detergentes ▶ Fertilizantes ▶ Lodos para perforación de pozos ▶ Polvos para hornear ▶ Refinación de azúcares ▶ Tratamientos de textiles
Mica	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Aislamiento (térmico y eléctrico) ▶ Anticorrosivo ▶ Decorativo ▶ Fertilizantes ▶ Industria hulera y plásticos ▶ Instrumentos ópticos ▶ Lubricante seco ▶ Pinturas
Montmorillonita de Calcio	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Aceites para vehículos ▶ Antídoto de envenenamiento con metales pesados ▶ Catalítica ▶ Farmacia y cosméticos ▶ Pesticidas ▶ Purificación de agua ▶ Tinturas
Talco y Esteatita	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Acarreo (pesticidas) ▶ De recubrimiento ▶ Diluyente (sustancias para pulir) ▶ Lubricante (preparaciones médicas y para cosméticos) ▶ Producción de gis

Sustancia	Usos	
	▶ Empaque en paracaídas	▶ Resistencia térmica, eléctrica ▶ Uso refractario y cerámica
Yeso o áljez	▶ Absorción de aceites industriales ▶ Aislamiento en tuberías ▶ Cemento Pórtland ▶ Cerámica ▶ Construcción	▶ Esculturas ▶ Fertilizantes ▶ Fundente (Ni) ▶ Mejorar agua en cervecerías

En suma, es difícil imaginar un mundo contemporáneo sin el empleo de los minerales; la minería de forma directa o indirecta es proveedora de materias primas que satisfacen diversas necesidades de la sociedad.

2 LA PRODUCCIÓN MINERA EN MÉXICO

México es un destacado productor de minerales a nivel mundial (tabla 1.4). Es el primer productor de plata y celestita, se encuentra entre los cinco mayores productores de cadmio, arsénico, bismuto, fluorita, plomo, barita, zinc y yeso, además está clasificado entre los diez mayores productores de oro, grafito, manganeso, antimonio y sal.

Tabla 1.4. Ubicación mundial de México en la producción de minerales en 2003.
Elaborado a partir de anuario estadístico de la minería mexicana, 2004.

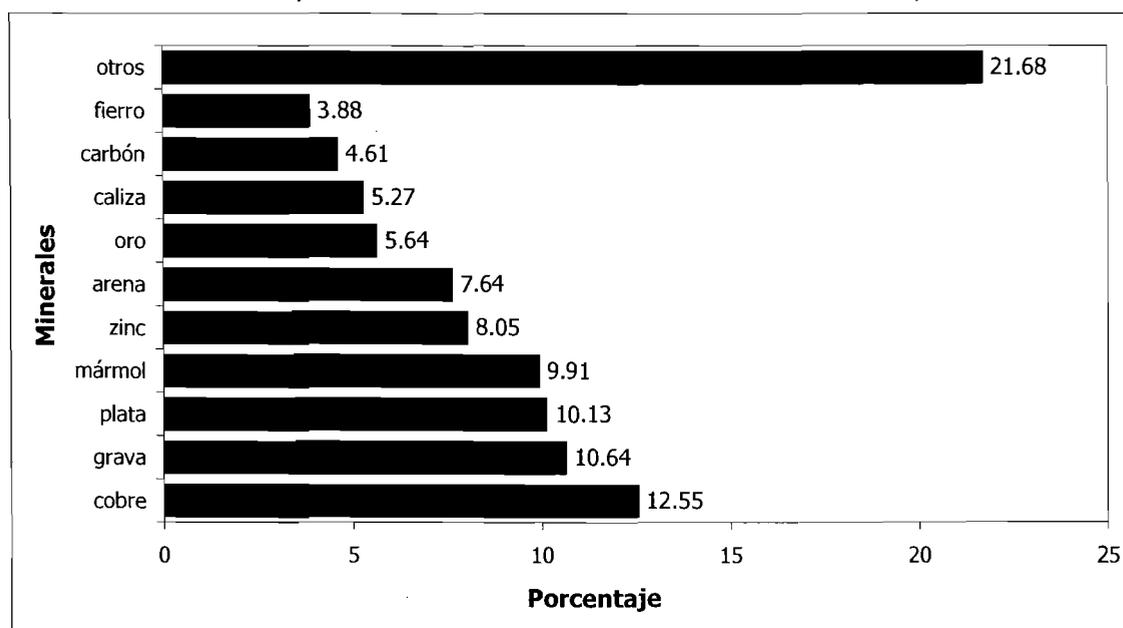
Posición	Minerales	% Producción mundial
1	Plata	15.37
	Celestita	32.69
2	Bismuto	27.90
	Fluorita	16.19
4	Arsénico	5.05
	Cadmio	11.03
5	Plomo	5.07
	Zinc	4.92
	Barita	4.23
	Yeso	6.85
6	Antimonio	2.77
	Diatomita	3.93
7	Molibdeno	0.31
	Sal	3.60
8	Grafito	1.13
	Manganeso	1.43
9	Oro	0.84
11	Feldespató	3.32
12	Cobre	2.20
13	Azufre	1.80
15	Fierro	0.60

A escala nacional, la importancia de los minerales se determina por el valor de la producción (Fig. 1.1). De acuerdo con este criterio, el cobre es el mineral que mayor valor aporta (12.55%) seguido por la grava (10.64%) y la plata (10.13%). Resalta el

hecho de que materiales como el mármol, la grava y la arena aporten mayores porcentajes al valor total que el oro, carbón y fierro.

El oro se extrae principalmente en Durango y Sonora (65.7%); Zacatecas produce por sí misma el 52% de plata; el fierro, por su parte se produce en Colima, Coahuila y Michoacán (90%); el 75% del zinc se extrae en Zacatecas y Chihuahua. Sonora por sí sola produce el 81.9% del cobre en básicamente 2 municipios (Cananea y Nacozari de García). En Chihuahua y Zacatecas se extrae el 69.8% del volumen total de plomo, mientras que en Hidalgo se extrae el 100% del manganeso.

Fig. 1.1. Distribución de los porcentajes del valor de la producción minera en México en 2003. Elaborado a partir del Anuario estadístico de la minería mexicana, 2004.



Con relación a los minerales no metálicos, la situación es como sigue: Los Estados de México, Hidalgo, Veracruz, San Luis Potosí y Distrito Federal destacan como productores de grava pues en conjunto extraen el 40%. El 72% del mármol se extrae en Durango, Distrito Federal y Jalisco. La arena se obtiene de manera importante en el Estado de México (30%). La totalidad del carbón producido en México se extrae de Coahuila.

Los Estados productores más importantes de minerales no metálicos aparecen en la tabla 1.5. En las once entidades, la extracción de minerales se concentra en pocos municipios, siendo Coahuila en el que participan más. En Sonora, Coahuila, Baja California y San Luis Potosí, existen municipios donde se obtienen la totalidad o una gran proporción de minerales de importancia nacional y mundial como el grafito (La Colorada, Sonora; 100%), la celestita (Ramos Arizpe, Coahuila; 94.36%), el yeso (Mulegé, Baja California; 57.78%) y la fluorita (Villa de Zaragoza, San Luis Potosí; 93.64%).

Tabla 1.5. Principales Estados y municipios que extraen minerales no metálicos en México.

Elaborado a partir de Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2004.

ESTADO	MINERAL	MUNICIPIO
Baja California Sur	Yeso	Mulegé
	Sal	Mulegé
Coahuila	Barita	Múzquiz
	Celestita	General de Cepeda Ramos Arizpe
	Dolomita	Castaños Sierra Mojada
	Yeso	Matamoros
	Fluorita	Acuña Múzquiz
Durango	Fluorita	Indé
Guanajuato	Caolín	Comonfort
Jalisco	Diatomita	Zocoalco de Torres
	Yeso	Tamazula de Giordano
	Caolín	El Arenal
Michoacán	Caolín	Zinapécuaro
Nuevo León	Barita	Galeana
	Dolomita	Hidalgo
	Yeso	Galeana
		Mina
Sílice	Lampazos	
Puebla	Feldespatos	Ahuazotepec
San Luis Potosí	Fluorita	Villa de Zaragoza
	Fosforita	Cerro de San Pedro
		Xilitla
Yeso	Cd. Fernández	
Sonora	Barita	La Colorada
	Grafito	La Colorada
	Wollastonita	Hermosillo
Veracruz	Caolín	Huayacocotla
	Sílice	Jaltipán
		Sayula de Alemán
		Coatzacoalcos

Otros datos que reflejan la actividad económica minera en México se ven en sus cifras sobre inversiones. De un total de 20'425 concesiones mineras existentes hasta junio de 2003 y distribuidas en 14.6 millones de Ha, el 46% corresponden a lotes de explotación, es decir 6.746 millones de Ha, y el resto a exploración. Las concesiones se han otorgado principalmente en los estados de Coahuila, Chihuahua, Durango, Sonora y Zacatecas. Del total de la superficie concesionada sólo el 17% estaba bajo explotación, es decir, 2.482 millones de Ha (Anónimo, 2003b).

De acuerdo con los datos del informe anual 2003 de la asamblea de la CAMIMEX, durante el 2002 la producción de los minerales no metálicos sufrió cambios a la baja con relación al año anterior (Anónimo, 2003^a). En muchos de ellos se aprecia una

disminución en la producción, tales como el grafito con (25.6%), yeso (16), fosforita (36.44), wollastonita (29.1), celestita (25). En general, la tendencia del valor de la producción fue a la baja con un 4.9%; la explicación a este comportamiento se encuentra en parte por la cotización en dólares de estos minerales pero también debido a la penetración de productores extranjeros, entre ellos China, Marruecos, Kenya, Sudáfrica, Rusia e India (Anónimo, 2003^a).

La inversión minero-metalúrgica nacional y extranjera realizada en 2002 fue de 443.2 millones de dólares, lo que significó un 10% menos que en 2001. Todo ello es reflejo de una comportamiento global, pues las inversiones mundiales dirigidas a las actividades de exploración minera sufrieron una drástica contracción de 58% entre 1997 y 2001 (Almazán, 2002).

No obstante lo anterior, México se encuentra entre las diez regiones de mayor atracción para la inversión en minería, esta circunstancia está en función de la geología del país y las políticas gubernamentales de minería que determinan el nivel de atracción de la inversión (Almazán 2002).

Las tareas de exploración, explotación, refinación y beneficio de los recursos minerales contribuyen anualmente con el 1.6% del PIB, además las exportaciones minero-metalúrgicas representan alrededor del 60% del valor de la producción total del sector por lo cual la minería es una importante fuente de divisas para México.

3 EL INVENTARIO DE MINAS EN MÉXICO

Durante la mayor parte de la historia minera de México se han abierto minas subterráneas. En el siglo XX, gracias a la tecnología y la maquinaria se abrieron las minas superficiales o a cielo abierto de grandes dimensiones. No obstante, en nuestro país no existe un inventario completo y actualizado que describa el número, la ubicación, extensión, materiales, el tipo y cantidad de residuos generados por las minas en general y las superficiales en particular; lo cual es un componente básico para identificar los problemas ambientales y proponer soluciones.

En el siglo XIX, Alejandro Von Humboldt visitó los caminos de plata mexicana y en 1811 publicó un libro de la geografía económica regional de la Nueva España en el que registró 3000 minas en 500 distritos mineros (García, 1999). Actualmente, el Consejo de Recursos Minerales (COREMI) se ha encargado, desde la década de los noventa de la elaboración de monografías geológico mineras de las entidades con actividad minera, principalmente de sustancias metálicas. A la fecha, cuenta con 24 monografías que incluyen un listado de minas y sus coordenadas geográficas.

Con base en la información disponible en cada estado, el COREMI elaboró un mapa que ubica geográficamente a todas las minas, sin embargo, no distingue el tipo de minado empleado, las sustancias que se extraen en cada una y tampoco se conoce el área que ocupan, así mismo, se carece de un inventario de minas abandonadas.

A pesar de lo anterior, es posible estimar el número de minas totales y las superficiales con base en los datos que ofrecen diferentes instituciones. Para determinar la cantidad de estas últimas se puede partir del siguiente supuesto:

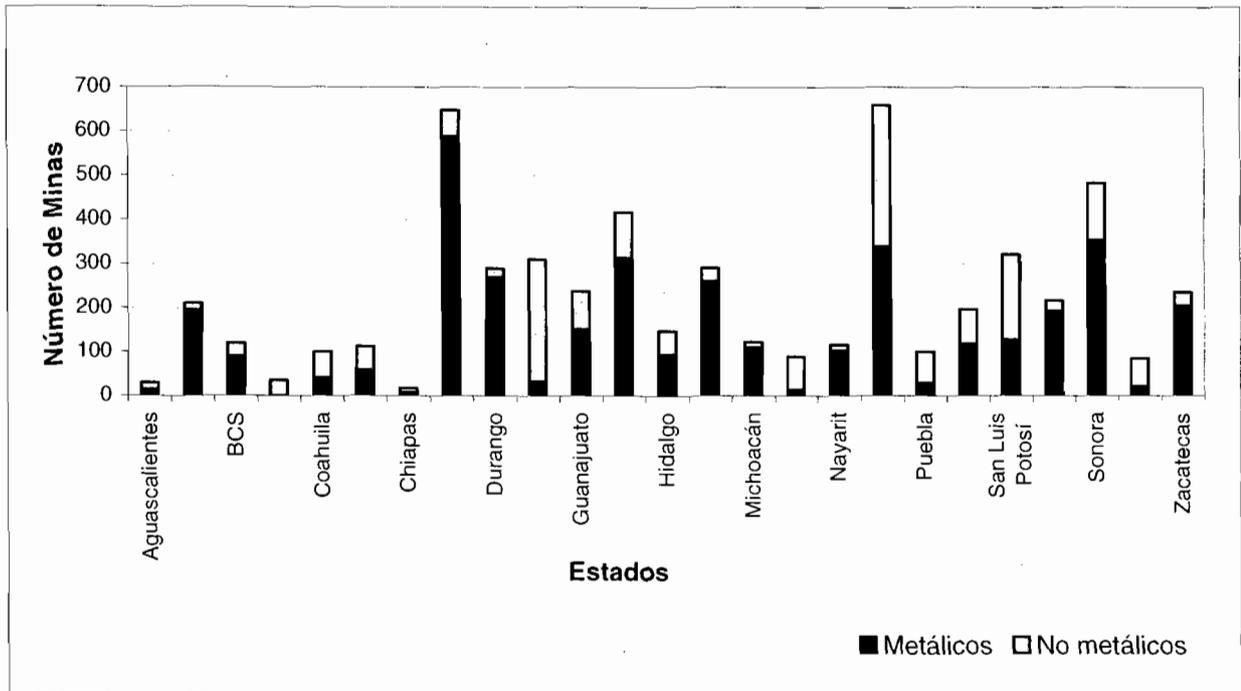
Las minería superficial se puede llevar a cabo para extraer minerales metálicos (mediante tajos) y minerales no metálicos (a través de canteras, tajos y bancos de materiales). Estos últimos son los que se extraen principalmente a cielo abierto, mientras que con los metálicos no siempre ocurre así y por lo tanto es más difícil determinar cuántos tajos existen. Con estas suposiciones el número de minas superficiales resultaría como se ve enseguida:

$$\begin{array}{rcccl} \text{Número de} & & \text{Número de} & + & \text{Número de} \\ \text{minas} & = & \text{minas de} & & \text{tajos} \\ \text{superficiales} & & \text{sustancias no} & & \text{(Sustancias} \\ & & \text{metálicas} & & \text{metálicas)} \end{array}$$

Las instituciones que poseen información útil para conformar un inventario de minas superficiales son el COREMI, el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), la Dirección General de Minas (DGM) de la Secretaría de Economía y la Cámara Minera (CAMIMEX).

A partir de los datos del COREMI, se contabilizaron un total 5595 minas encontradas en 24 entidades, de la cual se estimó que 1861 corresponde a minas superficiales, es decir el 33% del total. Los Estados de Oaxaca (320), México (277) y San Luis Potosí (194) poseen el mayor número de minas de sustancias no metálicas. Campeche, México, Veracruz y Puebla son entidades en las que predominan las minas de sustancias no metálicas (Fig.1.2).

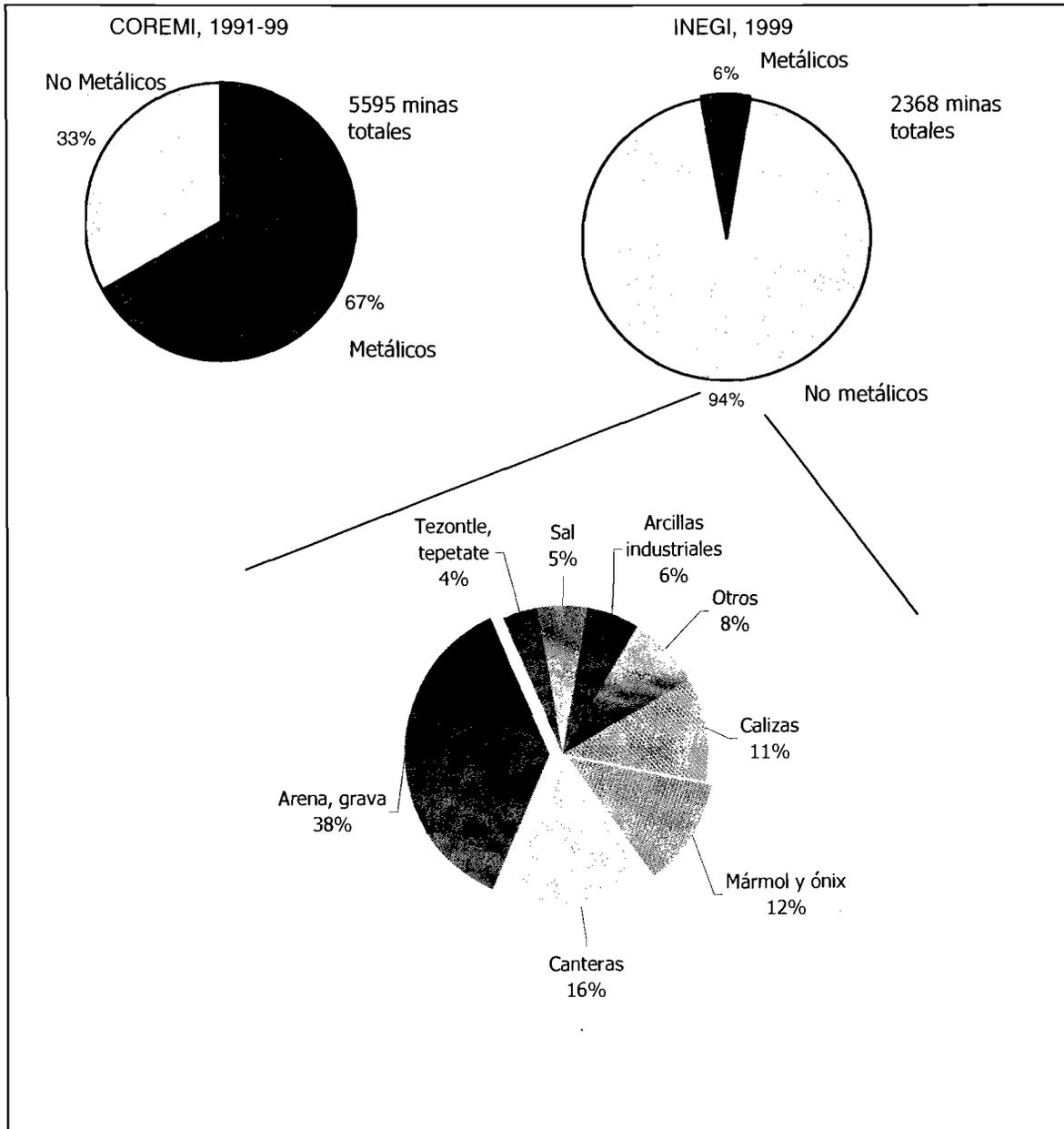
Fig. 1.2 Distribución del número de minas por sustancias en los Estados. Elaborado a partir de Monografías Geológico Mineras, COREMI 1991-99.



A partir de la información que generó el INEGI durante el XV censo industrial, se determinó un total de 2368 minas en el país, de las cuales 2128 corresponden a sustancias no metálicas, es decir 94% del total. Esta situación es opuesta a la obtenida a partir del COREMI, sin embargo hay que señalar el tiempo en que se llevó a cabo el levantamiento de datos. El INEGI presenta la información de las minas que estaban activas o funcionando en 1998, lo que significa que son datos más recientes y registrados en el mismo año en todo el país. A diferencia de lo anterior, el COREMI ha elaborado las monografías geológico mineras de 24 Estados a través de diferentes años (desde 1991 hasta 1999) considerando no sólo las minas económicamente activas. De esta manera, puede considerarse a los registros del COREMI como históricos aunque incompletos, y los de INEGI además de cubrir todo el país, son más recientes.

Una de las diferencias importantes entre ambas instituciones es la proporción de las minas de sustancias metálicas y las no metálicas. Los datos parecen indicar que, históricamente, se han acumulado más minas dedicadas a extraer metales y que la actividad de ésta rama ha disminuido en comparación con la rama de los no metálicos (Fig. 1.3). Además, debe considerarse que el principal interés del COREMI son los minerales metálicos y no ha cubierto estados como Yucatán y Quintana Roo que no cuentan con éstos.

Fig. 1.3 Comparación del número de minas en México según información del COREMI y el INEGI, y porcentaje del número de minas por sustancias no metálicas. Elaborado a partir de INEGI, 1999. XV Censo industrial (Minería y extracción de petróleo), y Monografías Geológico Mineras (COREMI, 1991-99)



A partir de los datos del INEGI (1999), se averiguó que del total de las minas de sustancias no metálicas, las de arena y grava, mármol y ónix, calizas y las canteras constituyen tres cuartas partes (Fig. 1.3). Esto no sólo refleja su importancia económica sino que indica que la mayoría de las minas superficiales de México extraen sustancias no metálicas, la mayoría de ellas usadas en la industria de la construcción.

Con relación a los tajos, la información sobre la cantidad y distribución de éstos en el país es escasa. Un problema importante para determinar su número es que en el

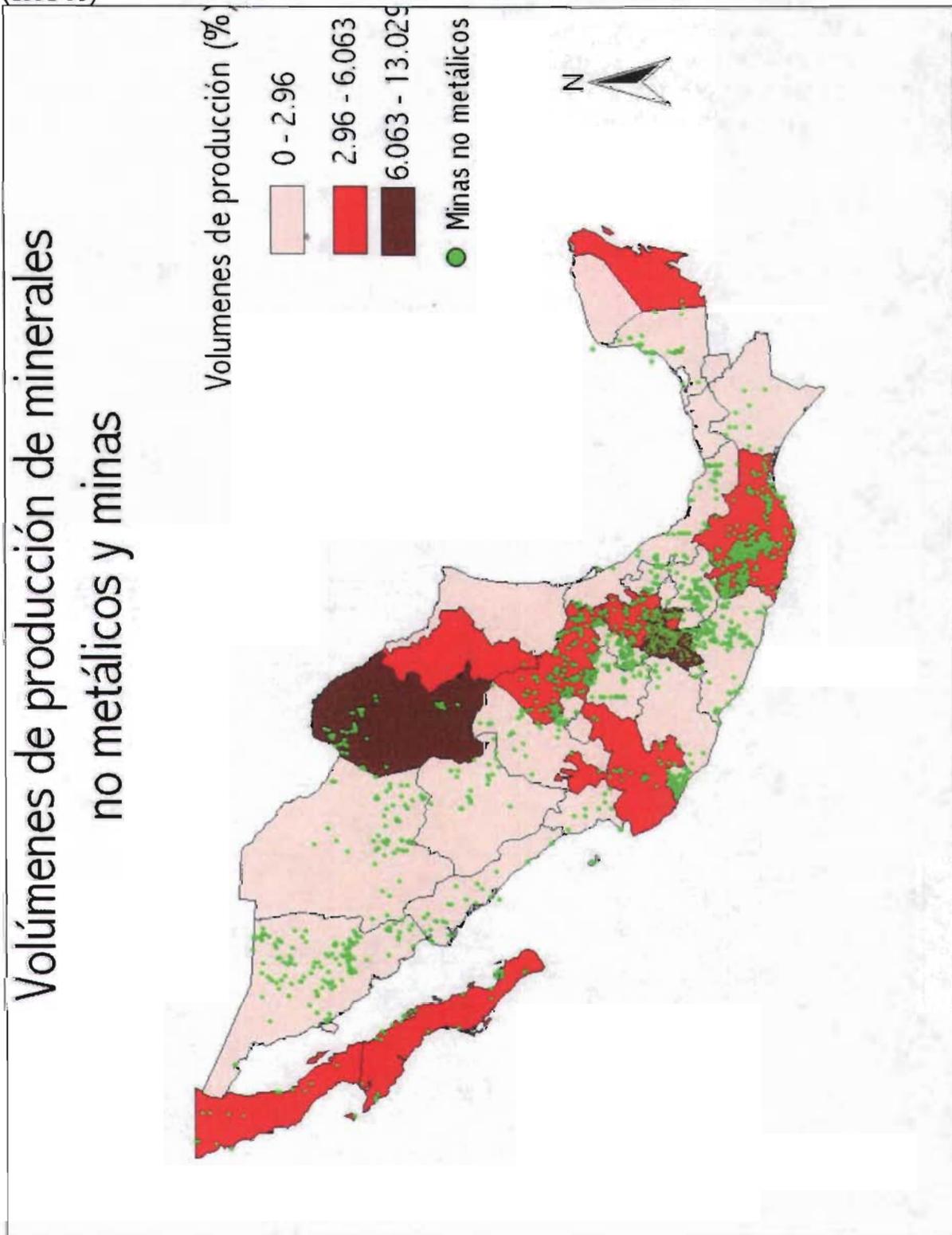
registro público de la minería no se requiere especificar el tipo de minado. Sin embargo a través de memorias de seminarios y otros documentos ha sido posible elaborar la tabla 1.6. Los tajos se distribuyen principalmente en el norte del país, Sonora es el Estado que concentra la mayoría, seguido por Coahuila. Cabe aclarar que el listado no registra todos los tajos en el país sino los más importantes y conocidos, lo cual muestra los sitios donde se presentan mayores impactos ambientales por minado superficial de minerales metálicos.

Tabla 1.6 Tajos en México.
*Tajos cerrados **Próximos a abrir. -información no disponible

Estado	Localidad	Tajo	Sustancia mineral
Aguascalientes	Asientos	Asientos	Plata
	Tepezalá	Tepezalá	Plata
Coahuila	Sierra Mojada	Prometeo	Hierro
		Teseo	Hierro
	Nava	Río escondido	Carbón
	Sabinas	Nueva Rosita	Carbón
	Múzquiz	-	Fluorita
Colima	Peña colorada, Minatitlán	Peña Colorada	Hierro
	Valle de Nahualapa	Cerro Nahuatl	Hierro
Edo. México	Sultepec	La Química	Oro y plata
Durango	Cerro del Mercado	Cerro del mercado	Hierro
Guerrero	Eduardo Neri	Unidad Mezcala	Oro y plata (2 tajos)
Hidalgo	Molango	Tezintla	Manganeso
		Naopa	Manganeso
Jalisco	Pihuamo	El Encino	Hierro
	Pihuamo	San Pascal	Hierro
Michoacán	Lázaro Cárdenas-	Las Truchas.	Hierro
	Coalcomán	La Minita*	Plomo, Zinc, Plata, cobre, Oro, barita
	Lahuacana	Unidad Inguarán*	Cobre
San Luis Potosí	Cerro San Pedro**	-	Oro, Plata.
Sinaloa	El Rosario	-	Oro
Sonora	Caborca	La Herradura	Oro
	Cananea	Cananea	Cobre
	Cananea	Kino	Cobre
	Cananea	La Colorada	Cobre
	Cananea	Veta Colorada	Cobre
	Cumpas	San Judas	Molibdeno y cobre
	Nacozari de García	La Caridad	Cobre
Zacatecas	Real de Angeles	-	Plata
	Concepción del oro	-	Cu

Fig. 1.4. Volúmenes de extracción de minerales no metálicos y ubicación de las minas. El porcentaje está referido al total del volumen extraído de minerales no metálicos en el periodo 1995-2003. Elaborado a

partir del Anuario Estadístico de la minería mexicana (1995-2003) y Monografías Geológico Mineras (1991-99)



Considerando que los datos del INEGI cubren a todo el país y fueron registrados en el mismo año; y que el número de tajos encontrados es igual a 28, se estima que el

número de minas superficiales en México es de 2156. Esta cifra muestra la actividad económica de la minería y de manera indirecta señala el grado de deterioro ambiental producido por la extracción superficial de minerales pero no de las zonas y el área que podría estar afectada.

Uno de los indicadores del área deteriorada por la minería superficial proviene de las cifras de volúmenes de producción de minerales no metálicos. A través del análisis de los registros de estos minerales en el anuario estadístico de la minería mexicana en un periodo de nueve años (1995-2003) se encontró que el Estado de México (13%), Coahuila (11%), Jalisco (6%), Distrito Federal (5.7%), Hidalgo (5%) y Baja California Sur (5%) concentran el 46% del total de la extracción, lo que supone una superficie de deterioro mayor por la minería que en el resto de los Estados (Fig. 1.4).

Al mismo tiempo, los estados arriba citados son los principales productores de minerales no metálicos; por ejemplo, el Estado de México extrae fundamentalmente arena y grava; de Coahuila se obtiene además del total de carbón, barita, yeso, celestita, dolomita y fluorita; en Jalisco se explota el mármol, la diatomita, el yeso y el caolín; en el Distrito Federal se extraen grandes cantidades de grava y mármol. Otros de los estados importantes por el volumen de producción son Nuevo León (4.8%); Quintana Roo (4.25%), Veracruz (4.5%) y San Luis Potosí (4%).

Los volúmenes de producción no se corresponden con el número de minas identificadas en el periodo 1991-99 por el COREMI, excepto en Oaxaca, Estado de México y San Luis Potosí, donde los volúmenes de extracción altos y medios coinciden con el mayor número de minas de no metálicos; en el resto de los estados, no ocurre lo mismo. Esto puede explicarse porque los volúmenes de producción tienen más relación con el área explotada (o tamaño de la mina) que con el número de minas, de tal manera que varias minas pueden extraer la misma cantidad que una sola.

El número y la distribución de las minas, así como los volúmenes de producción en cada estado reflejan la actividad económica de la minería, y al mismo tiempo, indican de manera indirecta la presión que se ejerce sobre el ambiente por efecto de la extracción de minerales. Otro indicador de lo anterior es la distribución de las minas sobre el escenario natural.

Los tipos de vegetación potencial indican la distribución de lo que naturalmente se espera observar sin la intervención antrópica, pero al mismo tiempo es una forma de integrar las variables ambientales como temperatura y precipitación que señalan el escenario donde ocurre la degradación ambiental provocada por la minería superficial. Con base en lo anterior, se elaboró la Fig. 1.5, donde se observa que las minas de minerales no metálicos registradas por el COREMI, se distribuyen principalmente sobre tres tipos de vegetación: matorral xerófilo, bosque de coníferas y encinos, y bosque

tropical caducifolio². Esto quiere decir que la actividad minera en México se desarrolla principalmente en ambientes de tipo seco y por lo tanto, donde se esperan encontrar los mayores pasivos ambientales, y paralelamente, las medidas legales para proteger dichos ecosistemas de nuevos proyectos mineros.

Contrario a la situación del pasado, el conocimiento sobre la distribución de los yacimientos minerales aún sin explotar puede anticipar en cierta medida los sitios que serán susceptibles de minar. Esta información también es de utilidad para desarrollar un adecuado manejo ambiental y considerarlo durante la elaboración del ordenamiento ecológico del territorio.

Con relación a la distribución de los recursos minerales, se sabe que la mayoría de los placeres auríferos de México se encuentran al pie de la vertiente del Pacífico de la Sierra Madre Occidental, mientras que en el interior del país los yacimientos son menores; los yacimientos de plata se localizan a lo largo de la Sierra Madre Occidental desde Sonora hasta el istmo de Tehuantepec, en los Estados de Chihuahua, Coahuila y Durango y en sierras como las de Zacatecas, Guanajuato, Querétaro y Pachuca en Hidalgo (Palacios, 2003).

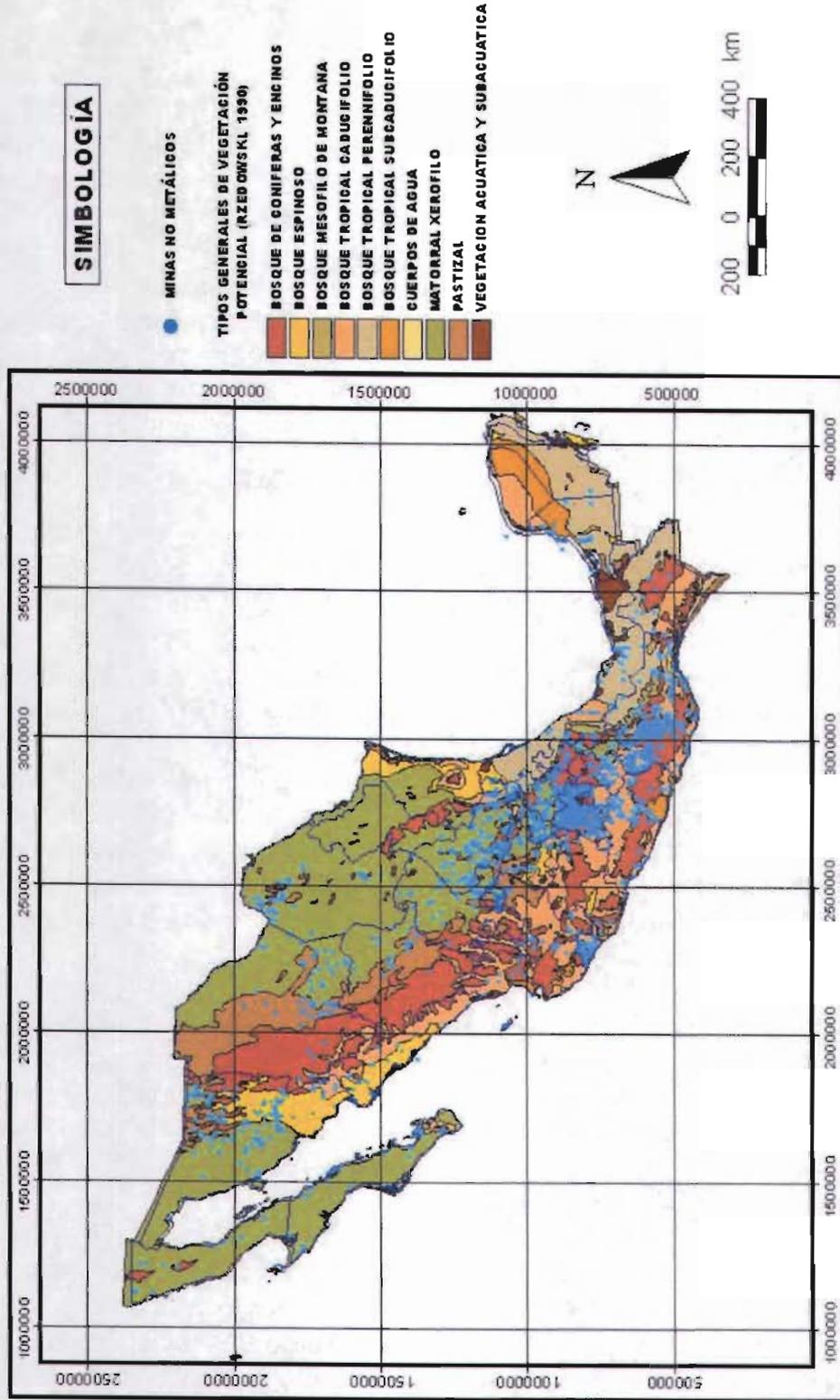
Los depósitos de plomo y Zinc se distribuyen en casi todos los estados del país con excepción de los del sureste: Yucatán, Campeche, Tabasco, Chiapas, Quintana Roo así como Colima, Tlaxcala y el Distrito Federal. En tanto, los yacimientos de cobre más importantes se localizaron en Cananea y Nacozari, Sonora y en El Boleo, Baja California; otros Estados con posibles reservas cupríferas son: Michoacán, Guerrero y Oaxaca (Palacios, 2003).

Es importante señalar que las dos terceras partes de la superficie del país presentan condiciones favorables para la actividad minera (Minería CAMIMEX, 1996), es decir, 1.6 millones de kilómetros cuadrados del territorio nacional tienen condiciones geológicas apropiadas para los procesos metalogénéticos. Sin embargo no están aún debidamente explorados o explotados. Este potencial minero también puede significar impactos sociales y daños ambientales potenciales si no existe el conocimiento sobre como prevenirlos y abordarlos.

² Los matorrales son comunidades vegetales donde predominan los arbustos y se desarrollan bajo climas secos cuyos rangos de precipitación incluyen los 30.5 mm hasta los 600 mm anuales y temperatura media anual entre 15° y 25° C con grandes oscilaciones en los valores máximos y mínimos diarios. Los bosques de coníferas y encino se conforman por árboles que se extienden en climas secos y templados cuya temperatura media anual varía desde los 12° hasta los 22° C aunque puede bajar alrededor de los 6° o llegar a 24° C, y la precipitación, se encuentra en el rango comprendido entre 500 hasta 2500 mm anuales. Los bosques tropicales caducifolios se ubican dentro de la zona tropical seca, donde la temperatura media anual es superior a los 18°, del mes más frío es 16° y mínima extrema de -4° C con heladas frecuentes, una precipitación pluvial de 600 a 1300 mm al año y con una marcada estacionalidad (Medrano, 2003).

Fig. 1.5 Distribución de las minas de sustancias no metálicas en los tipos de vegetación potencial de México. (Elaborado a partir de Monografías Geológico Mineras, 1991-99)

DISTRIBUCIÓN DE MINAS DE ELEMENTOS NO METÁLICOS EN LOS TIPOS DE VEGETACIÓN DE MÉXICO



4 LA MINERÍA EN LAS COMUNIDADES

Es bien conocido que la minería ha jugado un papel muy importante en México. La aparición de muchas ciudades tales como Zacatecas y Guanajuato pueden ser explicadas en función del desarrollo minero del país. Durante la Colonia, la explotación se fue expandiendo hacia el centro, centro occidente y noroccidente de México, mientras que en el periodo independiente la línea de ferrocarril del centro del país se dirigió hacia el Puerto de Veracruz facilitando el transporte de minerales con destino a Europa (León-Portilla *et al.*, 1978). De esta forma, la minería dejaría su huella no sólo por sus efectos económicos sino por la organización espacial del territorio.

Comúnmente, los minerales no se distribuyen de manera uniforme a través de las rocas, sino que tienen a presentarse en concentraciones relativamente bajas y a menudo contienen impurezas, además, los yacimientos no son fácilmente reconocibles pues están localizados en el subsuelo. Por lo tanto, la exploración o identificación de los depósitos o yacimientos mineros es la primera etapa de la producción minera, ya que permite diferenciar aquellos territorios con posibilidad de contener recursos minerales de explotación rentable.

Hasta el siglo XX, todas las explotaciones se basaban en encontrar depósitos de minerales metálicos de alta ley cercanos a la superficie. Aunque lo anterior continuará siendo el primer indicador de muchos yacimientos minerales significativos, la vasta mayoría de la producción minera actual de los principales metales proviene de operaciones de gran escala que explotan depósitos de baja ley, y que fueron descubiertos y evaluados por tecnología sofisticada, como las imágenes satelitales.

La presencia de los yacimientos mineros no determina por sí misma su explotación. Para que un depósito sea sometido al laboreo, es necesario que cumpla con varios requisitos tanto geológicos, como técnicos, económicos y geográficos (Coll-Hurtado, *et al.*, 2002). Por ejemplo, el yacimiento deber contar con las suficientes reservas de minerales de alta ley, facilidad de acceso, demanda en el mercado, la infraestructura presente y la mano de obra disponible, entre otros.

Cuando se cumplen los requisitos para que el aprovechamiento del yacimiento sea económicamente viable, entonces inicia la etapa de explotación, la cual puede extenderse por años o décadas. Bajo estas condiciones, las compañías interesadas en la explotación de los yacimientos minerales deben adaptarse y ubicar para llevar a cabo la extracción.

Una vez que se ha localizado un sitio con potencial de desarrollo minero los impactos que causan las instalaciones mineras constituidas por el complejo mina-planta de beneficio puede no sólo ser de orden físico, sino social y/o económico. Así mismo, los impactos pueden ser positivos o negativos. No obstante, los minerales son recursos no renovables, por lo que una vez agotado el depósito, terminan las operaciones y se abandonan las minas, y esto también genera impactos.

Para que las operaciones de extracción del yacimiento inicien, las empresas mineras genera su propia infraestructura para la obtención y comercialización del recurso. Esto influye en el espacio con las instalaciones físicas, la creación de unidades habitacionales para la fuerza de trabajo así como los servicios, centros de recreo, de labores comerciales, de servicios para la población empleada en tal actividad y su familia (Arvizu, 1997).

Las instalaciones que acompañan la apertura de una mina son las necesarias para: abastecimiento de agua y de energía, vías de comunicación y transporte, infraestructura municipal y de comunicaciones. Los costos de la introducción de toda la infraestructura han sido asumidos tradicionalmente por las compañías mineras (Sánchez-Salazar, 1990).

Los efectos que se desprenden como consecuencia del establecimiento de la infraestructura son la creación de fuentes de empleo y enseguida el efecto multiplicador al promover una derrama económica en toda la región a través del impulso del comercio y servicios (Arvizu, 1997; Siguenza, 1993).

Aunado a lo anterior, con la apertura de una mina suele suceder la apertura de otras más. Esto ocurre porque un amplio trabajo exploratorio amplifica y retroalimenta una mayor inversión en exploración de una zona, por lo tanto, la minería no sólo es el inicio de un efecto multiplicador sino que tiene un efecto de irradiación adicional. Lo anterior se explica al considerar que una vez hallado un yacimiento importante existe más probabilidad de encontrar otros más en la cercanía. Con este fenómeno podemos explicar porque la mayoría de las concesiones se concentran en el norte y centro del país, en zonas mineralizadas conocidas desde la época colonia; y que en otras regiones, como el sureste haya menor actividad minera.

Si bien con la apertura de minas se generan empleos en diversas zonas aisladas geográficamente, donde la población es reducida al igual que las actividades económicas, también existen otros tipos de efectos que deben atenderse.

Dentro de los impactos negativos quizá más mencionados están aquellos relacionados con la afectación de la salud y calidad de vida de los trabajadores y de la población de las localidades mineras. Por otro lado, la dependencia casi total de ciertas localidades respecto a la minería, en función del mercado de trabajo y de las fuentes de ingresos, constituye parte del impacto económico que esta actividad provoca sobre distintas regiones (Sánchez y Sánchez, 1993).

De acuerdo con Sánchez y Propin (1997), en México existen 37 municipios mineros rurales³, en los cuales se advierte un continuo de dependencia de la actividad minera.

³ De acuerdo el estudio. se consideraron como municipios mineros a aquellos conformados hasta por 15'000 habitantes donde la población económicamente activa (PEA) minera es mayor al 10%

Un extremo se presenta en Bolaños, Jalisco y San Jerónimo Taviche, Oaxaca, donde la población económicamente activa (PEA) minera en ambos municipios es la más elevada del país, 34 y 42% respectivamente; y sin embargo, el nivel de marginación es muy alto para ambos municipios. En el otro extremo, los municipios de Cumpas, Mazatán y San Felipe ubicados en Sonora, tienen una PEA entre 10 y 20%, y presentan índices de marginación bajos y muy bajos, así mismo, sus condiciones socioeconómicas son mejores que la media nacional a pesar de estar localizados sobre la sierra. Según estos datos, el porcentaje de la PEA ocupada en la minería en regiones rurales no determina necesariamente mejores niveles de vida para la población.

Arroyo (1988) menciona que el proceso de modernización de la industria ha sido selectivo, pues con el empleo de nuevas máquinas y herramientas surge la división del trabajo, y con ello la eliminación del personal, y también la contratación del personal especializado. Un ejemplo concreto lo podemos encontrar en Oaxaca, Sigueza (1993) apunta que los adelantos técnicos produjeron mayor eficiencia pero también incidieron en el surgimiento de problemas laborales que afectaron una comunidad zapoteca.

Ante un escenario donde la incorporación de tecnología y de maquinaria se emplean como un medio para producir más en menos tiempo, debe tenerse en cuenta que las características de la población local. En sitios apartados donde no existen antecedentes de minería y la población se ha dedicado a otro tipo de actividades es improbable que las empresas mineras encuentren el personal capacitado que necesitan, por lo tanto la cantidad de personas locales susceptibles a ser contratadas puede ser baja. Peor aún si consideramos que el promedio de educación de los trabajadores en las minas ha sido reportado en algunos lugares de 4º año de primaria (Siguenza, 1993). Dados los requerimientos de las empresas, en ocasiones no sólo llevan infraestructura y servicios a lugares apartados sino que trasladan personal capacitado a las instalaciones mineras (Valdez, 1984).

De manera general se puede decir que actualmente la exploración y extracción de los minerales se lleva a cabo aplicando nuevas tecnologías para poder competir en los mercados internacionales; la tecnificación y los nuevos métodos de minado como la explotación a cielo abierto a través de maquinaria pesada de alta capacidad y el empleo de sofisticados medios de transporte han provocado una menor demanda de mano de obra. En la década de los sesenta, la población activa minera consistía en alrededor de 145'000 personas y a la fecha la mano de obra apenas llega a 97'247 (INEGI, 2002). Durante el 2002, la disminución de la actividad minero-metalúrgica ocasionó una caída en el empleo de 2.3% con relación al 2001 (Anónimo, 2003b).

De acuerdo con Hernández (2000), la estructura sectorial del empleo en nuestro país se transformó de manera radical a lo largo del periodo comprendido entre 1970 y 1996, observando una reducción significativa de la importancia del empleo en la minería, pues del 2% registrado en 1970 se redujo a 0.4% en 1996.

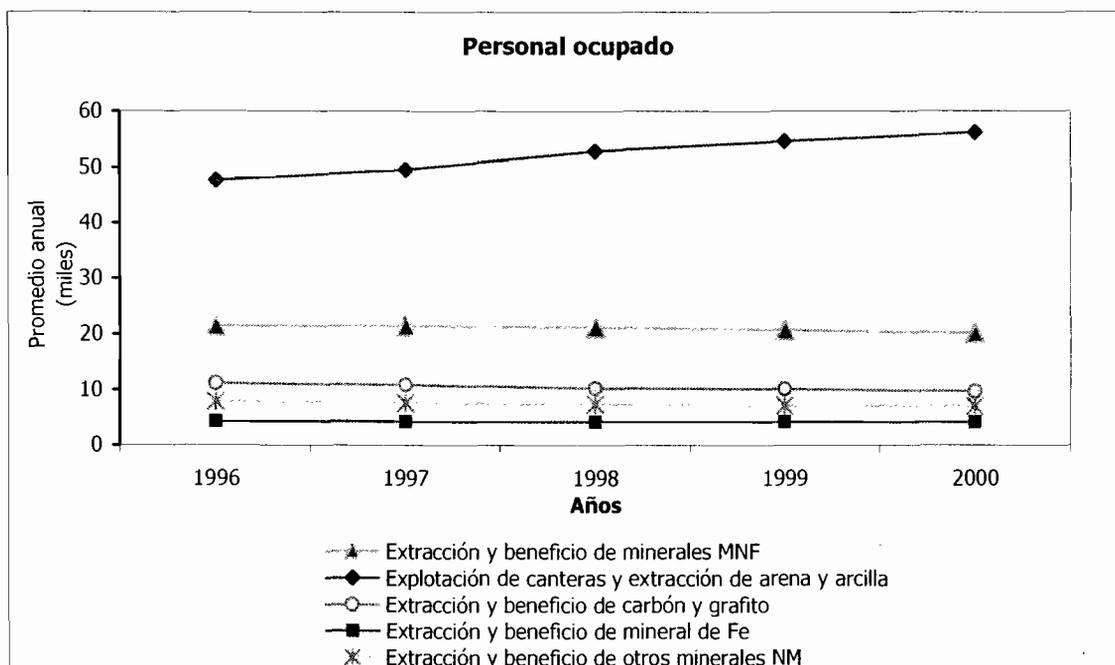
Un ejemplo que ilustra esta condición esta relacionada a la Zona Carbonífera de Coahuila. Según Juárez y Padilla (1996), como consecuencia del decaimiento de la actividad minera en la región se advierten modificaciones en las características socioeconómicas, entre ellas, serios problemas de desempleo y consecuentemente de ingresos a la población. Otros casos se presentaron durante los noventa en Ocampo Coahuila; Angangueo, Michoacán y Cerro de San Pedro en San Luis Potosí donde la producción minera cesó al cerrar las minas y plantas locales. El impacto del desempleo se manifestó como emigración, pues hubo una marcada disminución del número total de habitantes (Sánchez y Propin, 1997); de esta manera, se forman los pueblos fantasma.

Situaciones como las descritas arriba, no son privativas de México. De acuerdo con el informe del Proyecto Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable (2002), la generación de empleos como principal beneficio de los nuevos proyectos mineros y aportación al desarrollo sustentable puede verse disminuido debido a que las grandes empresas se inclinan por el uso de capital cada vez más intensivo, es decir se generan menos empleos. Algunos ejemplos se pueden encontrar en Bolivia, la cual experimentó una caída del empleo en la industria minera de 73'514 en 1990 a 46'402 en el año 2000; así mismo en el Reino Unido la minería empleaba a 180'000 trabajadores en 1989, pero en 1999 se contaba con 70'000.

Aunque poco se conoce sobre estudios de caso dirigidos a analizar los efectos socioeconómicos de las empresas que explotan minerales no metálicos tales como las cementeras en México, existen datos sobre la cantidad de personal ocupado y nos permite compararlo contra aquél que se emplea en la minería de metálicos. Cabe señalar que en el rubro de minerales no metálicos tienen mayor participación agrupaciones ejidales que disponen de menos recursos para invertir en maquinaria.

Durante el periodo 1996-2000, la explotación de canteras y la extracción de arena y arcilla ha sido la rama que más personal ocupa, por si misma emplea a poco más de la mitad del total y muestra una tendencia a incrementar en los siguientes años (Fig. 1.6). Por otro lado la extracción de hierro es la rama que se ha mantenido más constante y menor personal emplea. En el primer caso, la extracción se realiza de manera más rústica de ahí que se requiera de mayor mano de obra mientras que en el segundo caso la participación de grandes capitales tecnifica el proceso y reduce el personal requerido.

Fig. 1.6. Personal ocupado durante 1996-2000 por diferentes ramas de la minería MNF, metálicos no ferrosos; NM, no metálicos. Elaborado a partir de INEGI, 2002.



El empleo en la industria minera representó en el 2002 a escala nacional aproximadamente el 1.2%, a escala estatal la tendencia es la misma. Algunos Estados sobresalen con relación a los demás por la cantidad de empleos que generan en esta actividad, entre tales casos se encuentran Coahuila (2.19%), Zacatecas (2.11%), Durango (1.88%), Colima (1.45%) y Baja California Sur (1.14%).

Los impactos socioeconómicos también se ven reflejados con la tenencia de la tierra. Los conflictos con el sector agrario surgen porque las tierras destinadas a actividades agrícolas presentan posibilidades de explotación minera, sin embargo, debido al arraigo de los campesinos por su tierra en ocasiones impiden la prospección y desarrollo de proyectos mineros, como sucedió en el Ejido de Pilares, municipio de Nacozari de García; Sonora, donde se localiza la mina La Caridad (Grupo México, 2002.)

Este tipo de situaciones tiene implicaciones sociales pero debe notarse además aquellas relacionadas con el ordenamiento del territorio. Un terreno con aptitud agrícola puede competir en uso con el desarrollo minero, más aún, la creación de Áreas Naturales Protegidas es una fuente de conflicto entre la minería y la conservación de la naturaleza. Otro tipo de problema o impacto está ligado con los pueblos indígenas debido a que los territorios que reclaman como autónomos tienen recursos minerales susceptibles de explotar (CAMIMEX, 2001).

Otras situaciones suceden cuando al abrir minas superficiales, se necesita reubicar a los habitantes de la zona a ser explotada, las repercusiones sociológicas y culturales son especialmente pronunciadas cuando la población está muy arraigada en un espacio vital reducido o afianzada a sitios sagrados de importancia religiosa o histórica (Anónimo, 1993). Por ejemplo, en Cerro de San Pedro, San Luis Potosí, se presentaron acciones

legales por parte del núcleo agrario local contra la operación de una empresa minera por considerar que el uso de explosivos necesarios en la apertura de un tajo, provocará el colapso de casas y daños a los templos de San Nicolás Tolentino y San Pedro, que datan de los siglos XVI y XVII respectivamente, considerados por el INAH como monumentos históricos⁴.

El desarrollo de proyectos mineros en las comunidades apartadas donde suelen abrirse las minas, origina un comportamiento característico que consiste en tener una pobre relación con la compañía minera, lo cual en parte origina la percepción de los mineros como intrusos en su ambiente, su cultura e historia. Esta conducta puede ocurrir particularmente cuando la comunidad no tiene tradición minera y el beneficio por la minería no ha sido equitativamente compartido (Roberts *et al.*, 2000).

Los impactos al ambiente no sólo dañan a los ecosistemas, sino a la gente que vive en la zona afectada. La apertura de una mina puede dar empleo directo e indirecto a decenas de personas, y contribuir económicamente en infraestructura, pero como ha sucedido en las minas de manganeso en Hidalgo se han contaminado los ríos y bosques de doce comunidades aledañas de los municipios de Lolotla y Xochiatlán (Huerta, 2001).

Frente al desarrollo de la minería en comunidades apartadas, un asunto importante asociado a la población local está referido a la sustentabilidad del desarrollo, lo cual tiene implicaciones ambientales y sociales (Borgesi y Vercelli, 2003). El aspecto social se refiere principalmente en las oportunidades de desarrollo presentes y futuras, de las localidades con actividad minera, que pueden verse trasgredidas como consecuencia de las condiciones en que puedan quedar los recursos suelo, agua, flora y fauna; lo ambiental, hace referencia a esto último.

Los impactos producidos en el medio ambiente, en la salud humana y en los animales, son motivos por las cuales las empresas mineras son rechazadas por las comunidades. Estas pueden ser entendidas como daños que impactan el principal recurso comunal para la realización de sus actividades económicas (Lévano, 2000). Un ejemplo de lo anterior se presenta en el municipio de Ascensión en el estado de Chihuahua, donde los campesinos han protestado por la sobreexplotación de pozos por parte de una empresa minera⁵. De los 1600 que existen para riego agrícola y uso ganadero, al menos 400 de ellos han bajado sus niveles entre 15 y 20 metros, y decenas de ellos ya no tienen agua. Este hecho pone en relieve el impacto ambiental generado por una mina sobre la disposición de recursos –en este caso el agua – empleados por otras actividades productivas como las agropecuarias. Tal situación puede tornarse compleja por tratarse de un recurso limitado en el norte del país.

⁴ Peligra zona histórica de poblado potosino. Diario monitor. Viernes 26 de noviembre de 2004. pág. 8A.

⁵ Protestan campesinos por sobreexplotación de pozos. El gráfico. Martes 13 de julio de 2004. pág. 13.

Otros impactos asociados con aspectos sociales son aquellos ligados a la presencia de compañías mineras y el empobrecimiento de la comunidad y la desocupación. La situación de pobreza genera mayor preocupación en las comunidades y no es, por tanto, gratuito el interés por los recursos del medio ambiente (tierra y agua), sino que está ligado directamente con las necesidades de seguridad sobre la viabilidad de las actividades económicas en la comunidad que les permite sobrevivir. Esto es especialmente relevante para los pueblos indígenas, pues existe una dependencia muy estrecha hacia sus territorios ancestrales y recursos naturales, lo cuales están dirigidos hacia una producción de subsistencia (Echavarría, 2001).

Los antecedentes que tiene la minería en las regiones mineralizadas pueden predisponerlas a actitudes frente a las comunidades locales. Si el incumplimiento de promesas pactadas debido a falta de voluntad o de procesos de monitoreo y vigilancia sobre ellas han estado presentes, se originan fuertes conflictos entre las partes. Esto dificulta los procesos adecuados de comunicación y, por ende, del abordaje de conflictos, que es un obstáculo en el desarrollo sustentable local.

Así, la presencia de compañías mineras en las comunidades apartadas puede implicar conflictos entre las partes fundamentalmente por tres motivos: el uso de los recursos naturales; la satisfacción de necesidades humanas básicas, ligadas directamente con el derecho a un ambiente sano libre de contaminación, y el tercero, las condiciones ambientales para que continúe la viabilidad de las actividades productivas que se llevaban a cabo antes de la explotación de los minerales.

Los efectos socioeconómicos que genera la minería sobre las comunidades no sólo son diversos y dependen del contexto particular a cada localidad, sino que sus beneficios o perjuicios se diferencian a lo largo de la vida del proyecto. Con la apertura de la mina y la construcción de infraestructura, la minería puede representar una fuente de empleos; sin embargo, al final de la vida operativa, el cierre de la mina puede ser especialmente devastador en comunidades aisladas donde la minería se integró estrechamente a su estructura socioeconómica, ya sea a través del empleo, impuestos, el motivo del crecimiento económico etc.

La intensidad del impacto puede disminuirse probablemente con la duración de las actividades en las minas. El tiempo que una mina puede proporcionar minerales puede ser prolongado, por ejemplo en Fresnillo se encuentra la mina de plata más rica del mundo y ha estado en operación continua prácticamente desde hace cerca de 500 años. Otro ejemplo lo constituye Naica, la mina de plomo más rica y grande de México y lleva más de un siglo de operaciones casi sin interrupción (Palacios, 2003).

Cuando la actividad extractiva ha sido capaz de integrar otras actividades económicas complementarias, es posible que al desaparecer el centro de extracción minera, el espacio social sobreviva mediante el desarrollo de dichas actividades ya sean primarias, secundarias o terciarias. Se puede decir que la intensidad de los impactos derivados del

cierre de minas dependerá del número de trabajos perdidos, el tamaño de la comunidad afectada y la diversificación económica que la comunidad adquirió durante la etapa operativa.

Cuando por el contrario, la duración de los proyectos es más corta como parece suceder ahora, no existe la posibilidad de integrar otras actividades económicas que permitan el desarrollo de una comunidad. La dependencia hacia la minería puede ser tal que el declive en la producción de los minerales implica el declive de la comunidad. Así, cuando la minería decae totalmente y las actividades económicas complementarias no son suficientes para sostener el espacio social, entonces se forman los pueblos fantasmas que quedan totalmente abandonados, como ha sucedido con San Pedro y Real de Catorce en San Luis Potosí (Palacios, 2003).

El cierre o cese de las actividades de una mina puede obedecer a varios factores, entre ellos:

1. Agotamiento de las reservas minerales útiles y suficientes
2. Altos costos de producción
3. Constantes tendencias a las bajas a los precios de los metales
4. Inconveniencias en el contrato colectivo de trabajo
5. Dificultades económicas de las empresas

Cualquiera que sea el motivo del cierre de las minas, éste hecho expone a la minería como una actividad no sustentable.

5 LAS EMPRESAS MINERAS EN MÉXICO

En México existen empresas que pueden ser consideradas dentro de la grande, mediana y pequeña minería (artículo 9 de la ley minera). En el primer caso se cumple con la obtención de ingresos brutos por ventas de minerales, o sustancias sujetos a la aplicación de la Ley Minera, mayores de veinte mil veces el salario mínimo, extracción mensual del mineral por más de doce mil toneladas, y/o aporte más del 4.0% de la producción nacional anual o sustancia de que se trate. El valor de las ventas netas anuales de estas empresas se aprecia en la tabla 1.7.

Tabla 1.7. Ventas netas anuales de los principales consorcios mineros en México. Elaborado a partir de INEGI, 2002.

Empresa	Ventas netas anuales (miles de pesos)					
	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Grupo México	11'426'562	12'362'832	15'88'3117	18'768'645	35'012'504	27'650'294
Peñoles	7' 791'345	8'686'646	9'7492'85	9'323'054	10'165'605	9'994'767
San Luis	1'979'135	2'730'609	4'231'618	5'121'643	5'373'601	4'750'113

En el caso de la Mediana minería, el productor minero que obtenga ingresos brutos por ventas anuales de minerales o sustancias sujetos a la aplicación de la Ley Minera, entre cinco y veinte mil veces el salario mínimo; extracción mensual del mineral entre mil y

doce mil toneladas, y /o aporte entre el 1.0 y el 4.0% de la producción nacional anual o sustancia de que se trate.

Las características que definen a la pequeña minería son que el productor minero obtenga ingresos brutos por ventas anuales minerales o sustancias sujetos a la aplicación de la Ley Minera, inferiores a cinco mil veces el salario mínimo; quien extraiga mensualmente mineral menor a tres mil toneladas y / o aporte hasta el 1% de la producción nacional anual o sustancia de que se trate.

Los corporativos mineros nacionales mejor consolidados son el Grupo México, Industrias Peñoles y FRISCO⁶. Estas empresas son importantes generadoras de empleo dentro de la industria nacional, no obstante debido a la inserción de estos corporativos en la globalización económica, han logrado duplicar su producción mediante la adopción de esquemas de alta productividad a menor costo mediante la incorporación de la innovación tecnológica. La consecuencia ha sido la reducción de la plantilla de obreros hasta en la mitad (Palacios, 2003).

Actualmente las empresas consideradas dentro de la gran minería son las que extraen la mayoría de la producción de minerales preciosos (oro, plata), no ferrosos y metales siderúrgicos así como sal; mientras que la mediana minería extrae la gran mayoría de las toneladas de minerales no metálicos como el caolín, la barita, la celestita, la fluorita, la fosforita, entre otros.

Adicionalmente a lo que se contempla en la Ley Minera, existen otros minerales que no se encuentran regulados por ésta y les corresponde a las Entidades Federativas regular sobre el aprovechamiento de sustancias no reservadas a la Federación que constituyan depósitos de naturaleza semejante a los componentes de los terrenos como las rocas.

La minería social en nuestro país se desarrolla con trabajo manual, dirigida a la explotación, beneficio o comercialización de minerales no metálicos, sobre todo rocas dimensionables (mármol por ejemplo), calizas, agregados pétreos, grava y bentonita (CGM, 2002). Una de las razones por las cuales el sector social se dedica a la extracción de este tipo de materiales es que se trata de sustancias no concesibles por lo cual quedan exentas del pago de derechos y obligaciones mineras; otra razón es que no se necesitan grandes inversiones para la exploración y tampoco para los procesos de beneficio y comercialización como sucede con la minería de sustancias metálicas.

Los bancos de materiales y las canteras son un ejemplo de minería no reservada a la federación. Al igual que en la minería de sustancias metálicas, existen diversas empresas que participan en la explotación de estos. Dentro de las grandes empresas podemos mencionar a las cementeras que extraen grandes cantidades de calizas con maquinaria. En contraste las organizaciones ejidales explotan bancos de materiales con medios menos sofisticados. Dichos ejidos, comunidades agrarias, organizaciones de

⁶ En el 2002 la empresa Canadiense Wheaton Rivers adquirió LUISMIN, una corporación de mediana minería nacional.

trabajadores, cooperativas, empresas que pertenezcan mayoritaria o exclusivamente a sus trabajadores, y en general a todas las formas de organización social, dedicadas a las actividades extractivas constituyen la minería social (CGM, 2002).

De acuerdo con el programa nacional de desarrollo minero 2002-2006, *"el desarrollo de minerales no metálicos ofrece nuevas perspectivas que pueden y deben ser aprovechadas sobre todo en las regiones más atrasadas. La minería de PyMEs y la minería social puede convertirse en una opción viable para muchos productores privados y para los ejidos y comunidades agrarias que existen en el país, principalmente en el sureste"*.

Con la aplicación de las políticas del programa nacional de desarrollo minero, la explotación de minerales en el país marcaría aún más la situación que ya de por sí existe; en el centro y norte predominaría la extracción de minerales metálicos mientras que en el sureste se explotarían minerales no metálicos. Esta división es un reflejo de la distribución natural de los recursos minerales en el país.

6 EL DESARROLLO SUSTENTABLE Y LA MINERÍA

De acuerdo con el informe de la Comisión Burtland (1987) se define como desarrollo sustentable: Al *"...desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades"*. Esta definición puede ser aplicada a diversas ramas productivas tales como las forestales y agropecuarias en las que se manejan recursos renovables, sin embargo la claridad del concepto y cómo aplicarlo a aquellos recursos no renovables ha sido difícil de abordar.

Los minerales son un claro ejemplo de recursos no renovables, el tiempo que toma la formación de estos es del orden de millones de años, lo que significa que sus demandas actuales están limitadas por la cantidad de minerales económicamente viables de explotación en el presente.

El informe sobre Desarrollo Humano 1998 del Programa de Naciones Unidas para el desarrollo revela que el 86% del dinero destinado al consumo personal en todo el mundo es gastado por solamente 20% de la población mundial, así mismo el 58% de la energía total es consumida por el 20% más rico. Como hemos visto en este capítulo, un sin fin de productos contienen o tuvieron alguna relación durante su proceso con los minerales, lo cual quiere decir que tenemos un indicador indirecto de cómo se distribuye el consumo de minerales.

Los países en desarrollo esperan crecer e incrementar su ingreso, lo que puede significar una mayor demanda de minerales. Si el 80% de la población que espera mejorar su calidad de vida desea consumir tanto como ahora lo hace occidente sería prácticamente imposible satisfacer sus necesidades, un ejemplo es citado en el informe MMSD: *" si 7 mil millones de personas consumieran tanta energía y recursos como en occidente hoy en día, necesitaríamos 10 mundos, y no uno, para satisfacer todas*

nuestras necesidades”, incluyendo las de minerales. La disponibilidad de recursos a las tasas actuales de demanda ponen límites al desarrollo futuro, lo cual esta en contra del desarrollo sustentable.

Aunque los datos arriba mencionados se han referido en una escala global, muchos de los impactos generados por la demanda de materiales se quedan en el nivel local, es decir, en los sitios de extracción. Es en estos lugares donde se necesita adoptar las medidas que garanticen el desarrollo sustentable.

Las empresas, son un factor de gran importancia al momento de tomar decisiones sobre cómo ha de manejarse la extracción de los minerales teniendo como referencia al desarrollo sustentable. Esta participación es fundamental porque el objetivo principal de cualquier operación comercial minera es la explotación de los depósitos minerales con el menor costo posible y con una visión de maximización de los beneficios (Hustrulid y Kutcha, 1995).

Históricamente, la industria no había considerado los impactos ambientales y sociales que su actividad producía sino hasta fechas recientes. Ahora, existen leyes ambientales que deben ser cumplidas por las industrias. Si bien las leyes son una forma de regulación para que las empresas tengan un mejor desempeño ambiental y laboral, lo que puede ser decisivo es la vinculación del desarrollo sustentable y el éxito financiero de la empresa.

La incorporación de políticas en la empresa, basadas en el desarrollo sustentable puede implicar costos adicionales (o no contemplados sino hasta ahora) para obtener un buen desempeño ambiental, social y económico. Los beneficios generados como consecuencia de la reparación de externalidades⁷ que genera la industria minera, pueden quedar en su mayoría lejos de ésta y no ser un estímulo para incorporar al desarrollo sustentable dentro de los lineamientos de la empresa.

No obstante lo anterior, se han enumerado una serie de puntos llamados en el informe MMSD (2002) como “el argumento empresarial a favor de las preocupaciones del desarrollo sustentable” y que a continuación se describen:

1) Menores costos laborales y soluciones más innovadoras

La responsabilidad social, los valores de la empresa y los trabajadores, pueden traducirse en una mayor motivación y satisfacción de los empleados, en mayor productividad, innovación y creatividad de la mano de obra, reducción de conflictos sindicales, ausentismo laboral.

⁷ Las externalidades son los costos o beneficios sociales que no están incluidos en el precio de mercado: por ejemplo, al extraer y procesar materias primas que impulsan la industria automotriz, se reducen las energías no renovables y los recursos minerales, produce residuos sólidos y peligrosos, contribuye al cambio climático, contamina el aire y agua, entre otros. Estos efectos negativos son costos externos que se facturan a la sociedad en general y a las futuras generaciones. Como estos costos no están incluidos en el precio de mercado, las personas no los relacionan con la posesión de un coche y tarde o temprano la sociedad debe pagarlos en forma de costos sanitarios y seguros de salud que resultan más elevados.

2) Menos costos de salud

Un ambiente saludable y condiciones seguras en el trabajo y para la comunidad vecina mejora el bienestar y la productividad, la inversión en salud disminuye la amenaza de enfermedades desarrolladas por condiciones de pobreza. Con medidas preventivas en salud se evitan costos por demandas de compensación por parte de trabajadores y la comunidad.

3) Reducción de costos por métodos de producción más limpios

Los gastos en prácticas ambientales se pagan por sí solas con la reducción de los costos y el aumento de la producción que generan. La innovación y el desarrollo de la tecnología permiten introducir una mayor eficiencia de productos y procesos, por ejemplo los métodos de extracción más eficientes producen residuos con menos metales y disminuyen los problemas ambientales.

4) Mayor facilidad de acceso a préstamos y seguros, y a tasas preferenciales

El desempeño ambiental deficiente de una empresa reduce sus posibilidades de acceso al crédito y aumenta los costos de la operación, en particular en países donde la legislación sigue el principio "el que contamina paga"

5) Menores costos de transacción

La mayor transparencia y difusión de la información sobre un proyecto y los planes para evitar, mitigar y reducir los impactos negativos, y a la vez aumentar los impactos positivos, generarán confianza entre los actores involucrados y disminuirán los costos de transacción. Conocer los problemas con anticipación, ser perceptivo a éstos y ejecutar medidas preventivas apropiadas son acciones que rendirán frutos.

6) Menores costos de cierre y post-cierre.

El desarrollo e implementación claros de un plan a largo plazo, incluyendo la etapa de post-cierre, pueden bajar considerablemente los costos del cierre, si los sistemas funcionan correctamente desde un comienzo. Cuando la recuperación de la mina y zonas afectadas por ésta se planifica desde el inicio, el costo final es menor y se obtienen mejores resultados. Con una planeación deficiente se incurre en costos adicionales por la reubicación de los materiales residuales y por la contaminación de cuencas hidrográficas, entre otras consecuencias.

A mayor tiempo transcurrido entre la consumación de los daños ambientales y su reparación, y a mayor desinterés ante los problemas sociales generados por el desarrollo de la minería, mayor cantidad de recursos humanos y financieros serán necesarias para hacer frente a estos problemas. Lo anterior se traduce en una mayor demanda de recursos financieros al momento del cierre, cuando la empresa experimenta una disminución de sus ingresos.

7) Una mejor reputación aumenta el valor comercial

Los antecedentes de desempeño de una empresa pueden atraer mejor personal capacitado y ante las comunidades puede significar una mejor recepción en las naciones anfitrionas y en las comunidades locales si se presentan con una clara visión de sí mismas como agentes del Desarrollo Sustentable. Las buenas

relaciones y la aceptación en la comunidad local pueden reducir el tiempo requerido para obtener aprobación gubernamental y disminuir la posibilidad de conflicto.

8) Mejores prácticas influyen en la regulación

Las empresas que siguen las mejores prácticas se encuentran en una posición ventajosa con respecto a sus competidores para influir en la definición de las normas y el rumbo de los cambios reguladores. Las mejores prácticas pueden servir para lograr credibilidad ante los organismos reguladores y pueden también ser de utilidad en la creación de asociaciones para desarrollar regulaciones realistas y con base científica.

9) Ventaja comercial

La reputación y el valor de la marca son elementos de creciente importancia para que las empresas pongan precios de nivel superior a sus productos. Una empresa que se distinga como social y ambientalmente responsable puede posicionarse mejor que aquellas que no lo sean.

10) Inversionistas éticos

La rápida expansión en América del Norte y Europa del movimiento por la inversión ética y la inversión socialmente responsable (ISR) plantea un nuevo desafío a las empresas del sector de los minerales; ya que los inversionistas, en especial, los administradores de fondos de pensión y otras grandes instituciones dedicadas al manejo de fondos, descartan los títulos asociados a desempeños ambientales y sociales inaceptables. En el Reino Unido, 21 de los 25 fondos de pensión más importantes aplican actualmente criterios de responsabilidad social al menos a una parte de su cartera de inversiones.

Todos estos puntos parecen incentivar prácticas sustentables durante la vida de los proyectos mineros, de hecho varias de las grandes empresas mineras del mundo han hecho públicos algunos ejemplos de mejor desempeño ambiental y social que van de la mano con mejores resultados financieros (MMSD, 2002). Además de lo anterior, existen ejemplos que demuestran los costos adicionales por la desatención a problemas ambientales y sociales que pueden desembocar en conflictos. A pesar de la existencia de este tipo de datos, el acceso público se dificulta y es necesario contar con más ejemplos empíricos que respalden la incorporación de prácticas sustentables en las políticas de las empresas mineras y demuestren su éxito financiero.

El interés en el desarrollo sustentable de los grandes grupos mineros del mundo ha aumentado, al parecer son concientes de la importancia de su interacción y la consulta con los actores locales y también están al tanto de los impactos socioeconómicos y ambientales que tiene la actividad en sus empleados y en las comunidades donde operan. No obstante, en la atención a cada una de estas preocupaciones, la gestión ambiental se encuentra mejor implementada que el manejo de los temas sociales y de los impactos económicos de mayor amplitud. Un ejemplo de lo anterior puede notarse

en las manifestaciones de impacto ambiental, en las cuales la integración de la problemática social con los aspectos ambientales queda poco integrada.

El concepto de desarrollo sustentable tiene dos componentes, el social y el ambiental, lo cual quiere decir que la desigualdad social y el deterioro del ambiente son concebidos como condiciones igualmente importantes e interdependientes de la sustentabilidad; por lo tanto, la atención a los problemas ambientales sin el interés por las dificultades sociales que puedan derivarse por la apertura y/o cierre de una mina no se puede considerar como desarrollo sustentable.

Sin duda, el papel del Gobierno será primordial al reconocer los impactos sociales que se produzcan durante el desarrollo del proyecto minero y más aún considerando la necesidad de consenso entre los diferentes actores involucrados que parten de diferentes percepciones acerca de las responsabilidades y beneficios que trae consigo la apertura de una mina.

Pero no sólo toca al Gobierno atender los problemas sociales que se puedan desarrollar a lo largo de la vida del proyecto minero sino que también es responsabilidad de las empresas, los trabajadores y la comunidad.

Un ejemplo de cómo las empresas están enfrentando las consecuencias sociales del cierre de las minas es a través de la capacitación hacia actividades diferentes a la minería, con lo cual se amplían las posibilidades laborales de los trabajadores al concluir su trabajo. Recientemente en México, como en otros lugares del mundo, algunas de las grandes empresas mineras se encargan de alfabetizar y con el apoyo de instituciones de gobierno capacitan a sus empleados en otras labores.

Los sindicatos de trabajadores también pueden responsabilizarse de dar a conocer a los trabajadores las opciones de transición laboral, y cada uno de ellos es responsable de tener conciencia sobre su futuro una vez que cierre la mina. Cuando es posible predecir la reducción de la fuerza laboral, parte de la solución debería ser una planificación integrada para tratar de asegurar la existencia de oportunidades a partir de las habilidades desarrolladas.

Con relación al pasado, la falta de previsión sobre los problemas sociales y de conocimiento sobre las consecuencias ambientales del ciclo de producción minero generó situaciones que las empresas y gobiernos no previeron. De acuerdo con Lozada (2000), la principal preocupación de las autoridades ambientales en nuestro país se centra en las instalaciones mineras que dejaron de operar hace muchos años, que están abandonadas, y donde los pasivos ambientales son muy altos; sin embargo, el Estado no cuenta con recursos suficientes para restaurar los sitios contaminados. Esta circunstancia refuerza aún más la necesidad de prever los impactos ambientales y sociales para no incrementar los costos por concepto de restauración que de por sí son difíciles de cubrir.

7 CONCLUSIONES

La distribución de los yacimientos económicamente viables determina la ubicación de las minas, lo cual ocurre generalmente en regiones remotas donde las explotaciones y los impactos ambientales y sociales que genera son poco evidentes para la sociedad, la cual, demanda las materias primas que satisfacen sus necesidades a través de un sinnúmero de productos usados diariamente.

Los beneficios de la minería a menudo son identificados al nivel de país mientras que a nivel localidad existe poca información sobre los impactos que genera la minería a pesar de la tradición minera de México. No obstante, las referencias existentes indican que los beneficios que aporta la minería al nivel de localidad permanecen mientras se desarrollan las operaciones, y dependen del tamaño de las empresas. Por el contrario, los efectos negativos en las localidades persisten hasta más allá del fin de las operaciones debido a las condiciones de desempleo, migración y de la degradación del ambiente, lo cual afecta las posibilidades de desarrollar las actividades productivas o de subsistencia llevadas a cabo antes de la explotación minera.

La desatención de las externalidades sociales y ambientales desarrolladas en el ámbito local durante la mayor parte de la historia minera de México ha legado pasivos ambientales durante los 500 años de la actividad minera, en los cuales la minería superficial ha contribuido con un menor número de minas. No obstante lo anterior, la demanda por más minerales se incrementará conforme crezca la población y el ingreso *per cápita*, y al mismo tiempo, los yacimientos mineros de baja ley serán cada vez más frecuentes, lo que podría incrementar la frecuencia de minas superficiales y con ello los efectos negativos en las localidades si las medidas necesarias no son llevadas a cabo.

Actualmente, las minas superficiales en México extraen en su mayoría minerales no metálicos y son operadas por empresas de la mediana y pequeña minería, y por el sector social; por su parte, las grandes empresas son las que las abren minas de extensas dimensiones para extraer principalmente minerales metálicos. Esta situación marca las responsabilidades y las capacidades para restaurar las minas en nuestro país. En ambos casos, la magnitud de los problemas puede relacionarse con: los minerales que se extraen, el lugar donde se encuentran los yacimientos, el tamaño de las operaciones y el tiempo en que se desarrolle la explotación; sin embargo, la capacidad para prever, evitar o reducir los impactos negativos puede no ser la misma debido a las posibilidades económicas y técnicas de las empresas.

Existen muchos ejemplos en el mundo de cómo la ignorancia de los problemas ambientales y sociales ha ocasionado grandes costos para las empresas y en algunos casos hasta el cierre de las minas. De lo anterior podemos decir que la prevención es la mejor opción que tienen no sólo las empresas sino los gobiernos ante los potenciales problemas sociales y ambientales. Por tal razón, se requiere al nivel de país la inclusión de políticas que aseguren una planeación integrada y anticipada que considere todos los factores presentes durante cada etapa del desarrollo de un proyecto minero, incluyendo

de manera importante la escala local, de lo contrario, las omisiones representarán costos extras difíciles de absorber por los gobiernos⁸.

⁸ Por ejemplo, en la Lista Nacional de Prioridades de Estados Unidos se encuentran 52 sitios considerados por la EPA como riesgosos para el ambiente y la salud humana. En dichos lugares se llevó a cabo la extracción, beneficio u operaciones de procesamiento de minerales diferentes al carbón. En 1991 la Oficina del Inspector General del Departamento del Interior del mismo país reportó que el costo de reclamación del total de minas abandonadas de minerales diferentes al carbón ascendía a 11 billones de dólares.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Almazán, S. 2002. Inversión en Exploración minera. *Minería CAMIMEX*. Vol XI No. 4 pág: 16-23.
- Alonso, V. M., Trejo, P. y J. L. Vega. 1988. La minita. En *Minas Mexicanas*. Tomo 4. Ed. Jorge Ordóñez Cortés. AIME, Society of Economic geologist. 121 pp.
- Anónimo, 1993. Minería a cielo abierto. Págs. 173-193. En *Guía de protección ambiental. Material auxiliar para la identificación y evaluación de impactos ambientales*, Tomo II Economía agropecuaria, minería y energía, actividades industriales y artesanales. Ministerio Federal de Cooperación económica y desarrollo (BMZ). Alemania.
- Anónimo. 2003^a. Informe anual 2003 de la Asamblea de CAMIMEX, *Revista CAMIMEX*, julio-septiembre de 2003 Pág. 16-25.
- Anónimo. 2003b. III informe de gobierno, apartado sobre minería. www.presidencia.gob.mx
- Arroyo, A.J. 1988. La minería en México (capital, trabajo y conflictos). Tesis Licenciatura en Sociología. Escuela de Estudios Profesionales Aragón, UNAM. México.
- Arvizu, F. Eric. 1997. La minería como estructuradora del espacio social y económico del municipio de Guanajuato 1980-1996. Tesis Licenciatura en Filosofía, UNAM. México. 147 pp.
- Borghesi, S. y A. Vercelli. 2003. "Sustainable globalization". *Ecological economics*. 44:77-89.
- Bradshaw, A. D. 1983. "The reconstruction of ecosystems". *Journal of applied ecology*. 20: 1-17.
- CAMIMEX 2001. 10(2): 2.
- Coll-Hurtado, A., Sánchez-Salazar, M. T. Y J. Morales. 2002. *La minería en México*. Instituto de Geografía. UNAM. México. 126 pp.
- Consejo de Recursos Minerales. 1993. Exploración, metalúrgica y comercialización de minerales no metálicos. México. 166 p.
- Coordinación General de Minería (CGM). 2002. Programa para fomentar el desarrollo de la actividad extractiva en el sector social. Secretaría de Economía. México. 12 pp.
- COREMI, 1993. Exploración, metalúrgica y comercialización de minerales no metálicos. México. 166 pp.
- COREMI. 2004. Cartografía Digital de yacimientos mineros del Estado de Aguascalientes.
- Diario Oficial de la Federación. 15 de febrero de 1999. Reglamento de la Ley minera.
- Echavarría, C. 2001. "Reflexión sobre el sentido de territorialidad para los pueblos indígenas en el contexto del ordenamiento territorial y el desarrollo minero". IIPM y IDRC.
- Estrada, S. y B. Villarreal. 1990. Las Encinas. En *Minas Mexicanas* Tomo 5. Ed. Jorge Ordóñez Cortés. American Institute of mining metallurgical and petroleum engineers Section México, Society of Economic geologist.

- Galguera, G. A. 2004. Condiciones de formación de los yacimientos de fierro de "El Encino", Jalisco. Tesis Licenciatura. Facultad de Ingeniería UNAM. México. 76 pp.
- García, J. A. 1999. "La minería durante la época colonial". *Minería Camimex*. X(3): 26-30.
- Grupo México. 2002. Informe Anual 2001. Contingencias y procedimientos legales.
- Hernández, E. 2000. Prospectiva demográfica y económica de México y sus efectos sobre la pobreza. CONAPO. México. 85 pp.
- Housman, V.E. y S.D. Hoffman. 1992. Mining sites on superfund's national priorities list –Past and current mining practices. En Risk assessment / management issues in the environment planning of mines. (Van, D., Koval, M. y M. Ta editores) Society for mining, metallurgy and exploration. Estados Unidos. 206 pp.
- Huerta, M. A. 2001. Minería y desarrollo regional: El caso de la explotación de manganeso en el norte de Hidalgo. Tesis Maestría. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. 58 pp.
- INEGI. 1999. XV Censos industriales (Minería y extracción de petróleo). México. Pp.
- INEGI. 2000. Encuesta industrial Mensual, resumen anual 1999. México. 747 Pp.
- INEGI, 2002. *La minería en México*. 176 pp.
- Juárez, M. y S. Padilla, 1996. "Una visión espacial de los aspectos socioeconómicos de la población en la zona carbonífera de Coahuila, México". *Investigaciones geográficas Boletín del Instituto de Geografía*. No. 32. UNAM. México. 69-94.
- Lee, R.A. 1999. *The legal, engineering, environmental and social perspective of Surface Mining Law and Reclamation by Landfilling*. Imperial College Press. Singapur. 512 pp.
- León-Portilla. M. Gurría, J., Moreno, R. Y E. Madero. 1978. *La minería en México*. UNAM. México. 183 pp.
- Lévano, A. M. 2000. "Impactos socioambientales en las comunidades campesinas de zonas mineras y desarrollo rural sostenible: un estudio a partir de las percepciones de comuneros / as campesinos / as". En *Cierre de Minas: experiencias en Iberoamérica*. Villas Boas, R. Y M. L. Barreto editores. CYTED/IMAAC/UNIDO. 581p.
- Lozada, M. 2000. "Cierre de Minas en México". En *Cierre de minas, experiencias en Iberoamérica*. Villás Boas, R. C. y Barreto, M.L. (editores). Barreto editores. CYTED/IMAAC/UNIDO. 581p.
- Martínez, A., Martínez, J. A. y L. Elizondo. 1990. "Hercules". En *Minas Mexicanas* Tomo 5. Ed. Jorge Ordóñez Cortés. American Institute of mining metallurgical and petroleum engineers Section México, Society of Economic geologist. pp.
- Medrano, F. 2003. Las comunidades vegetales de México, propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación en México. INE-SEMARNAT. México. 81 pp.

- *Minería CAMIMEX*, 1996. Abril-junio. Pág. 46.
- Mining, Minerals and Sustainable Development (MMSD) Project. 2002. Earthscan para el International Institute for Environment and Development, I World Business Council for Sustainable Development.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de Baja California Sur*. 1999. Consejo de Recursos Minerales. COREMI, SECOFI. México. 237pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de Baja California*. 1999. Consejo de Recursos Minerales. México. 162 pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de Campeche*. 2002. Consejo de Recursos Minerales. COREMI, SE. México. 153 pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de Coahuila*. 1993. Consejo de Recursos Minerales. COREMI, SECOFI. México. 154 pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de Colima*. 1994. Consejo de Recursos Minerales. COREMI, SECOFI. México. 90 pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de Chiapas*. 2000. Consejo de Recursos Minerales. México. 203 pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de Chihuahua*. 1994. Consejo de Recursos Minerales. COREMI, SECOFI. México. 297 pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de Durango*. 1993. Consejo de Recursos Minerales. COREMI, SECOFI. México. 204 pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de Guanajuato*. 1992. Consejo de Recursos Minerales. COREMI, SECOFI. México. 136 pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de Guerrero*. 1999. Consejo de Recursos Minerales. México. 281 pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de Hidalgo*. 1992. Consejo de Recursos Minerales. COREMI, SECOFI. México. 95 pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de Jalisco*. 1992. Consejo de Recursos Minerales. México. 122 pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de México*. 1996. Consejo de Recursos Minerales. COREMI, SECOFI. México. 148 pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de Michoacán*. 1995. Consejo de Recursos Minerales. México. 193 pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de Morelos*. 2000. Consejo de Recursos Minerales. COREMI, SECOFI. México. 209 pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de Nayarit*. 1994. Consejo de Recursos Minerales. México. 171 pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de Oaxaca*. 1996. Consejo de Recursos Minerales. México. 296 pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de Puebla*. 1995. Consejo de Recursos Minerales. México. 153 pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de Querétaro*. 1992. Consejo de Recursos Minerales. COREMI, SECOFI. México. 108 pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de San Luis Potosí*. 1992. Consejo de Recursos Minerales. México. 218 pp.

- *Monografía Geológico Minera del Estado de Sinaloa*. 1991. Consejo de Recursos Minerales. COREMI, SECOFI. México. 159 pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de Sonora*. 1992. Consejo de Recursos Minerales. México. 220 pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de Veracruz*. 1994. Consejo de Recursos Minerales. COREMI, SECOFI. México. 123 pp.
- *Monografía Geológico Minera del Estado de Zacatecas*. 1991. Consejo de Recursos Minerales. México. 154 pp.
- Montaña, A. y J. D. González. 1978. Operación minera a cielo abierto en Cananea. En Memorias del I Seminario Nacional sobre minado a cielo abierto. México. Octubre, 577 pp.
- Olivo, H., Martínez, J.C. y M.A. Vizcarra. 1987. Cumobabi. En Minas Mexicanas. Tomo 3. Ed. Jorge Ordóñez Cortés. AIME/ Society of economic geologist. 134 pp.
- Palacios, C. 2003. Geografía de las corporaciones que participan en la minería metálica de México: 1980-2000. Tesis Doctorado. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México. 257 pp.
- Pérez, C. y S. C. Aréchiga. 1978. Proyecto de explotación del Tajo No. 1 de San Juan de la Costa. B. C. S. En Memorias del I Seminario Nacional sobre minado a cielo abierto. México. Octubre, 577 pp.
- Pesquera, R. 1978. Principales minas antiguas inactivas o parcialmente trabajando en México. Consejo de Recursos Minerales. México. 14 pp.
- Programa Nacional de Desarrollo minero 2002-2006. Secretaria de Economía. México. 118 pp.
- Proyección de la variante media de la División de Población del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, Naciones Unidas. <http://www.un.org/esa/population/demobase>.
- Rico, J. 1988. "Sultepec." En *Minas Mexicanas* Tomo 4. Ed. Jorge Ordóñez Cortés. AIME, Society of Economic geologist. 121 pp.
- Roberts, S., Veiga, M. y C. Peiter. 2000. Aspectos generales del cierre y recuperación de minas en las Américas. Resumen ejecutivo. IIPM.
- Rzedowski, J. 1990. Vegetación Potencial. IV.8.2. Atlas Nacional de México. Vol II. Escala 1:4 000 000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Sánchez, A. y E. Propin. 1997. Tipología de los municipios minero-rurales de México, 1990. En Memorias de la XXII Convención Nacional de AIMMG. M.
- Sánchez, A. y M. T. Sánchez. 1993. Reflexiones sobre los impactos físicos y socioeconómico de las Instalaciones mineras en México. Investigaciones geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. No. especial UNAM. México, 67-74.
- Sánchez-Salazar. Ma. Teresa. 1990. Análisis de la organización territorial de la actividad minera en México. Tesis Doctoral. Colegio de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras UNAM. México.
- Siguenza, S. 1993. Minería y comunidad Indígena. Tesis Licenciatura en Historia. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México. 166 pp.

- Talamante, L. y E. Von Ziegel. 1978. Procedimientos sobre costos y presupuestos en la mina a tajo abierto "La Caridad". En Memorias del I Seminario Nacional sobre minado a cielo abierto. México. Octubre, 577 pp.
- Valdéz, C. 1984. Geografía minera de México: Grupo Peñoles. Tesis Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. 178 pp.
- Whitworth, K. 1993. "Ventajas de la explotación de carbón a cielo abierto, en Inglaterra". *Minero-Noticias*. No. 158. Año 6. pág. 27-30.

LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LA MINERIA SUPERFICIAL

1 EL IMPACTO AMBIENTAL

El impacto ambiental usualmente se entiende como cualquier cambio registrado por una variable ambiental tras una acción determinada (Wathern, 1988), pero no todos los cambios pueden calificarse como tales, pues aún los ambientes naturales están sujetos a los cambios. Así, el concepto de impacto ambiental está circunscrito a aquellos efectos producidos por el ser humano; aunque no toda alteración ambiental de origen antrópico puede considerarse como tal.

Martín (1999), señala que el impacto ambiental es la alteración de una determinada variable ambiental en cuanto está dotada de importancia para el ambiente, y que puede modificar, en la forma que sea, la calidad del medio. No obstante, el cambio en una variable sólo determina el impacto de una acción sobre un único elemento ambiental; y partiendo de que existen interrelaciones entre los elementos del ambiente deben considerarse las repercusiones directas e indirectas provocadas por dicho cambio sobre la calidad del medio.

La calidad ambiental es el parámetro que permite determinar los impactos producidos por una acción y, su definición suele estar referida en función de la integridad y salud de los ecosistemas (Martín, 1999). El primero de éstos términos hacen referencia a la composición de especies, diversidad y organización funcional comparable a la de ecosistemas naturales equivalentes. El segundo, se refiere a la capacidad del ecosistema para mantener las funciones habituales bajo condiciones normales (Karr, 1991).

El conocimiento sobre la escala en la cual se manifiestan los impactos son importantes porque los ecosistemas son jerárquicos, compuestos de diferentes niveles de organización englobados unos en otros (Allen y Starr, 1982); y cuando se introducen modificaciones en un subsistema determinado pueden originarse repercusiones en el funcionalismo de niveles superiores o inferiores. Para definir la escala, debe conocerse el tamaño y ubicación de un proyecto en particular.

La calidad del medio está definida con relación a la salud e integridad de los ecosistemas, e implica el uso de juicios de valor para establecer los criterios que definan qué debe considerarse como saludable e integridad en un ecosistema. Con relación a la calidad del medio, se han desarrollado varios índices para el agua y suelo, sin embargo no existe uno absoluto, pues según la actividad que se requiera efectuar con el recurso (agua o suelo) existen varios parámetros de calidad. Por lo

tanto, la definición de los criterios de calidad del medio es dependiente de circunstancias particulares.

En el presente capítulo se analizarán de manera general los impactos que regularmente se desprenden de las actividades mineras superficiales sin llegar a hacer una valoración de los impactos, pues como se ha explicado arriba, la escala y los criterios de la calidad del medio son lo que permiten valorar los impactos en proyectos particulares.

2 LA MINERÍA SUPERFICIAL

Las minas superficiales o a cielo abierto, son una forma de operación diseñada para extraer minerales, rocas o materiales de construcción cercanos a la superficie (Terrazas, 1975; Ramírez, 1978). Los volúmenes de producción obtenidos por la minería a cielo abierto siempre son superiores a los procedentes de la minería subterránea ya que permite explotar yacimientos minerales de baja ley (Arvizu, 1997). Aunque este tipo de minado requiere de grandes capitales de inversión, los costos de operación son bajos y se consiguen buenas condiciones de seguridad para el personal, por ello, no sorprende que sea el método de explotación predominante en el mundo.

La minería superficial puede clasificarse con base en los métodos de minado en: mecánico (o seco) y acuoso (o húmedo) (tabla 2.1). El primero de ellos emplea procesos mecánicos en un ambiente seco para extraer los minerales del subsuelo, los métodos más importantes son los tajos, las canteras y *open cast mining*.

La extracción húmeda incluye los métodos que dependen del agua o un líquido solvente para recuperar los minerales, ya sea por acción hidráulica o una solución de ataque. Los métodos húmedos a su vez pueden agruparse en minado de depósitos de tipo placer¹ y en minado por solución. Los de placer se emplean para recuperar metales pesados de depósitos principalmente aluviales² o de placer usando agua para excavar, transportar y / o concentrar el mineral. Por su parte, los métodos de solución se aplican a los minerales solubles usando agua o un líquido solvente (Hartman, 1987). En general los métodos húmedos son poco usados, motivo por el cual no se consideran en este trabajo.

¹ Los depósitos de placer son concentraciones naturales de minerales pesados originados por el efecto de la gravedad.

² Los depósitos aluviales son materiales depositados por los ríos.

Tabla. 2.1 Tipos de minado superficial. Elaborado a partir de Anónimo (1993) y Hartman (1987).

CLASE	SUBCLASE	MÉTODO	MINERALES / ROCAS
Mecánica (Seca)		Tajos	Minerales metálicos (Al, Cu, Au, Fe, U)
		<i>Open cast</i>	Carbón principalmente, antracita, bauxita, bentonita, lignito.
		Canteras	Granito, mármol, areniscas, pizarra, calizas (rocas dimensionables)
Acuosa (Húmeda)	Placer	Hidráulica	Grava, arena, diamantes, Au, platino, estaño.
		Dragado	
	Solución	<i>Boreholemining</i>	Sal, trona, (evaporitas), caolin, uranio.
Lixiviado		Usado en la recuperación secundaria de Cu, Au, Ag, y en la recuperación primaria de uranio.	

Los tajos son un método seco de gran escala que se utiliza principalmente para la extracción de minerales metálicos, los cuales en su mayoría se originaron a partir de la actividad de tipo volcánica que inyecta los fluidos mineralizados dentro de las rocas encajonantes y generalmente se distribuyen más en sentido vertical (profundidad) que horizontalmente como sucede con el carbón (Hartman, 1987).

Los depósitos gruesos, típicos de menas³ metálicas son extraídos desde la superficie hasta el subsuelo generalmente en escaños, aunque los depósitos relativamente delgados pueden ser minados desde una sola cara como en las canteras. La forma de explotación en los tajos produce su distintivo aspecto, una pirámide circular invertida en la tierra, de gran profundidad y extensión.

En las canteras se extraen rocas dimensionables como el granito y el mármol, y otros bloques prismáticos de forma regular. Aunque el término se aplica en ocasiones para cualquier mina superficial que extrae minerales no metálicos, el término está restringido para denotar la extracción de rocas dimensionables y de materiales como grava o arenas.

En apariencia, las canteras son similares a los tajos. Las diferencias son la escala de la operación, que es mucho más pequeña, y los escaños o caras de las canteras que son muy reducidas y casi verticales. En su aspecto general, la pared de una cantera es a menudo de altura e inclinación impresionante.

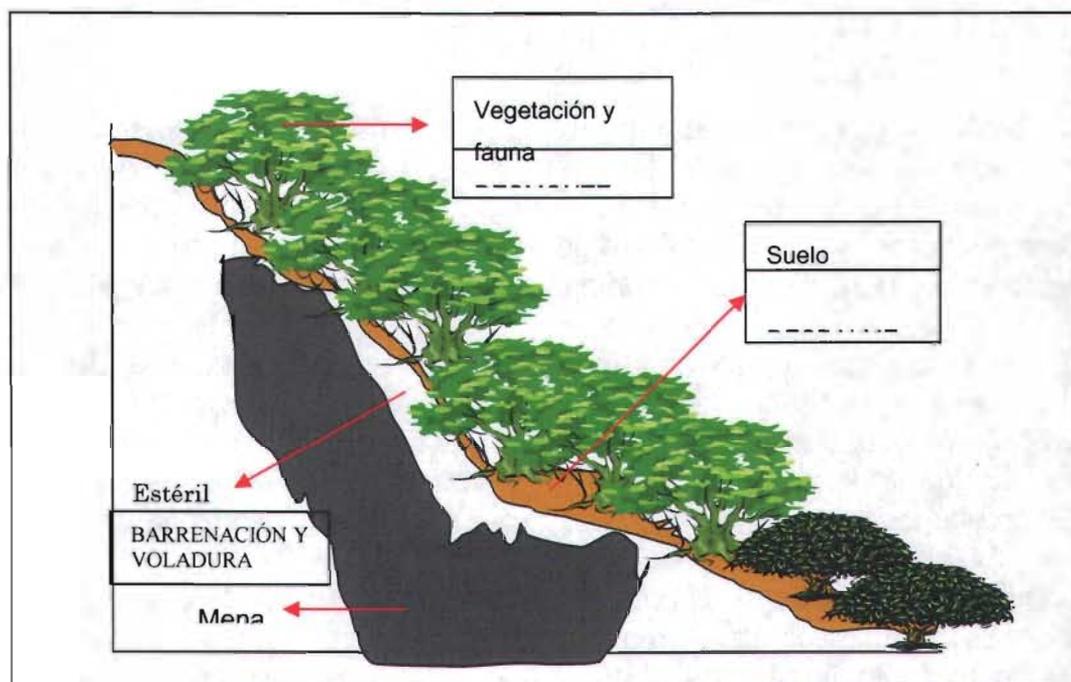
El método *open cast mining* (también conocido como *strip mining*), es usado al igual que los tajos y canteras para explotar depósitos minerales cercanos a la superficie, aunque éste método se emplea particularmente para extraer carbón y otros minerales cuyos depósitos son horizontales, poco profundos y relativamente

³ Mena: el mineral o roca de interés con el valor suficiente que amerita su explotación; este término tiene un sentido económico, pero en un geológico puede considerarse como depósito o yacimiento mineral.

gruesos de considerable extensión lateral. La razón de su distribución es el origen geológico, pues se trata de depósitos sedimentareos.

En la minería superficial se trata de exponer cerca de la superficie la mena mediante el retiro del descapote, el cual esta conformado por suelo y roca que cubre la mena (Fig. 2.1). El método de minado seleccionado para la explotación es determinado principalmente por las características de la mena y los límites impuestos por la seguridad, la tecnología y la economía.

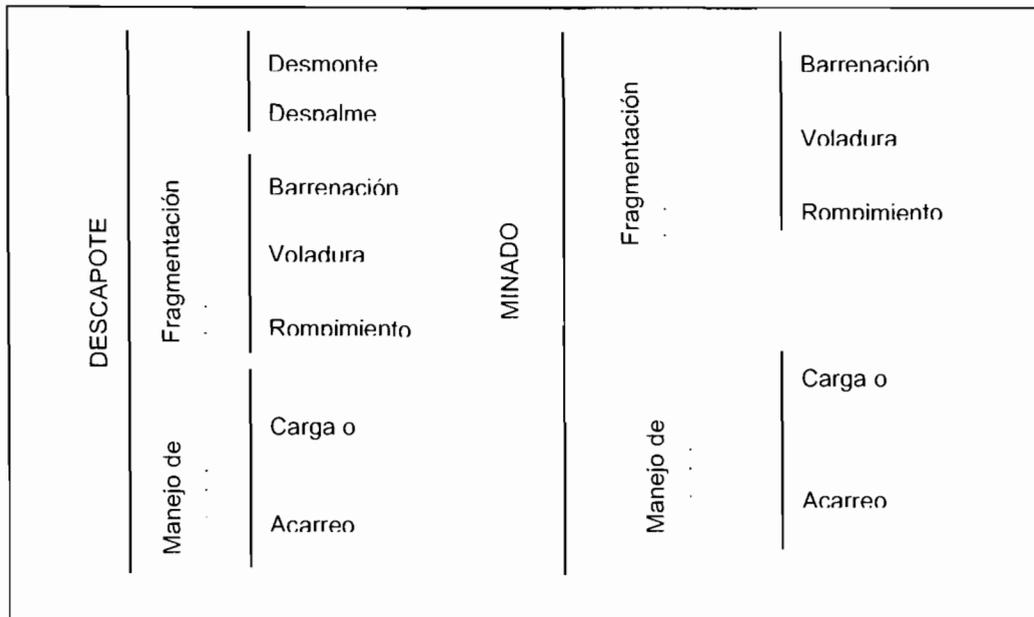
Fig. 2.1 Perfil esquemático de la ubicación de la mena, los elementos que se retiran para su extracción y las operaciones necesarias.



El ciclo de producción se conforma de operaciones unitarias, las cuales están agrupadas en dos funciones: fracturamiento de la roca y manejo de materiales. El fracturamiento depende de la naturaleza del descapote. En general, cuando éste se compone de rocas duras consolidadas se necesita barrenar y usar explosivo (voladura); y cuando las rocas no están consolidadas o son frágiles se emplea el ripeo.

El manejo de los materiales puede realizarse de diversas formas, pero generalmente corresponde a la carga o excavación y el transporte con el uso de maquinaria como la grúas (verticales o inclinadas). En general, las dos grandes operaciones que distinguen al minado superficial son el descapote y el minado propiamente (Fig. 2.2)

Fig.2.2. Operaciones realizadas durante el desarrollo de minas superficiales.



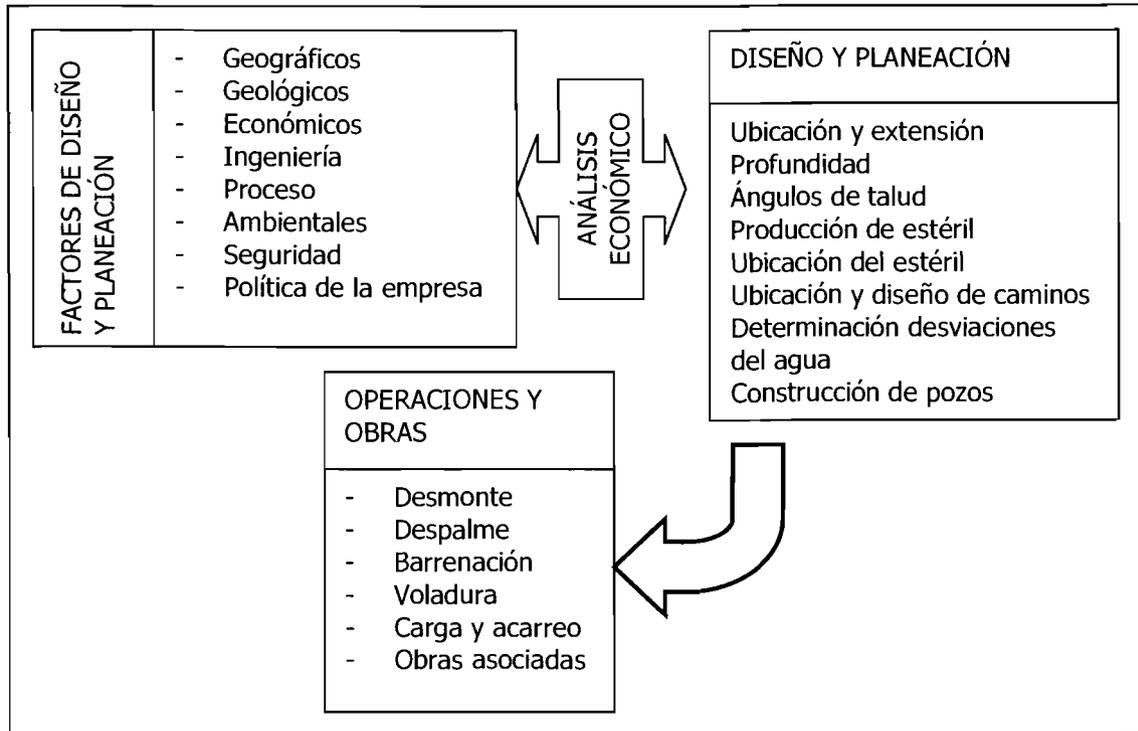
Las operaciones que aparecen en la figura 2.2 pueden definirse como sigue (Armstrong, 1990):

1. Desmonte: es la remoción total de la vegetación en la zona a minar.
2. Despalme: en ocasiones se distingue como la operación de retirar el suelo, pero con frecuencia el suelo no se separa de las rocas.
3. Barrenación: Es una operación de perforación de las rocas.
4. Voladura: La operación utilizada para fragmentar las rocas mediante explosivos.
5. Rompimiento: Operación de fragmentación de las rocas poco o no consolidadas sin el uso de explosivos.
6. Carga o excavación: Las rocas fragmentadas son excavadas y cargadas al medio de transporte.
7. Acarrero: Cuando se trata de la mena, es el transporte de las rocas cargadas hacia la planta de beneficio o de procesamiento; cuando se trata de las rocas del descapote, es el transporte hacia el área de terreros⁴

Los detalles de las operaciones son determinados por el diseño y planeación de las minas, y esto a su vez depende del análisis económico hecho a partir de varios factores, entre ellos los geográficos, geológicos, económicos, ambientales, de ingeniería, proceso, seguridad y política de las empresas (Hernández, 1992; Fig. 2.3).

⁴ Se conoce como terreros al sitio donde se dispone del suelo y roca estéril que resulta del descapote.

Fig. 2.3 Factores considerados durante el diseño y la planeación de minas.



Los pormenores de las operaciones de minado además de ser delimitadas con base en los factores de carácter técnico, en buena medida son definidas por el aspecto económico que considera las proyecciones del precio de los minerales, el capital invertido, las ganancias y los impuestos (Hernández, 1992). Por lo anterior, la planeación y diseño de las minas son resultado de complejas decisiones de gran significado económico (Call y Savely, 1990; Weber, 1990; Hustrulid y Kutcha, 1995).

3 LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LA MINERÍA SUPERFICIAL

En las explotaciones mineras superficiales, se forman inmensas excavaciones tanto en extensión como en profundidad que llegan a degradar de 2 a 11 veces más la tierra que las minas subterráneas, y es el motivo por el cual son muy evidentes en el paisaje (Miao, 2000). Este hecho es provocado por las operaciones que conducen al retiro de todo aquello que está por encima de la mena para que ésta sea extraída (Fig. 2.1 y 2.4). A continuación se describen y analizan los impactos producidos en cada operación minera.

Desmante, despalmes y manejo de materiales

La primera operación necesaria para acceder a la mena es el descapote, el cual inicia con el desmante y el despalmes. Durante éstas últimas se eliminan las capas más externas: la vegetación y el suelo.

Los impactos que se desprenden del desmonte son la destrucción de la vegetación, y con ello la pérdida del hábitat de la fauna, por lo que ésta pierden sus áreas de alimentación, anidación, refugio; que provoca su desplazamiento. La pérdida del hábitat es la principal causa de extinción de las especies.

La tasa de recuperación de un ecosistema se relaciona directamente con el tipo y la intensidad de la perturbación, ya que esta determina el tipo de propágulos que permanecen en el sitio (Meffé y Carroll, 1994). Cuando se elimina la vegetación y el suelo –como es el caso de las erupciones volcánicas y la minería superficial- se inicia un proceso de sucesión primaria, en la cual pueden pasar cientos de años antes de recuperar el ecosistema eliminado (Begon *et al.*, 1996).

El proceso de colonización es complejo en las minas superficiales debido a que existen condiciones diferentes al de los alrededores. Por lo anterior, las especies colonizadoras deben poseer las características adecuadas para enfrentar las condiciones adversas, por ejemplo cambios microclimáticos y ausencia de suelo. Las restricciones ambientales sólo permiten que algunas especies se establezcan, lo que implica que la vegetación resultante será diferente a la que se estableció antes del desmonte; este hecho ha conformado floras distintivas que llegan a ser poco comunes y hasta únicas (Bradshaw, 1983; Gómez *et al.*, 1998).

Los cambios en la composición de las especies no sólo obedecen a lo anterior, también influyen de manera importante las topoformas del área minada. La forma y exposición (norte o sur) de las taludes de las minas superficiales determinan las condiciones ambientales diferenciales (por ejemplo, temperatura y humedad) a las que responde la vegetación (Manner *et al.*, 1984).

Con relación al suelo, durante el desmonte y despalme se emplea maquinaria pesada que modifica sus propiedades, entre las más obvias, la pérdida de estructura y el aumento en la densidad aparente. Por ejemplo, una capa endurecida generalmente tiene densidades mayores a 2.0g/cm^2 que dificulta el desarrollo de las raíces y el establecimiento de la vegetación (McRae, 1998; Bradshaw, 2000), y al mismo tiempo antecede a los problemas de erosión por la carencia de estructura.

Los costos de transporte generalmente determinan la práctica común de disponer el suelo sobre laderas o cañadas cercanas para conformar los terreros; como resultado, también se pierde el suelo y la vegetación en dichos sitios. El suelo colocado en los terreros con frecuencia queda sepultado o mezclado con el material estéril (rocas sin valor económico); en ambos casos la pérdida de suelo es total, porque la alteración de sus propiedades le resta valor de uso en obras de restauración, o lo imposibilita totalmente para ser usado nuevamente.

DESCAPOTE

MINADO

Operaciones Elementos ambientales	DESCAPOTE				MINADO		
	Desmante	Despalme	Manejo de materiales	Barrenación y voladura	Manejo de materiales	Barrenación y voladura	Manejo de materiales
Atmósfera	Polvo Ruido Contaminación	Polvo Ruido Contaminación	Polvo Ruido Contaminación	Polvo Ruido Vibraciones Contaminación	Polvo Ruido Contaminación	Polvo Ruido Vibraciones Contaminación	Polvo Ruido Contaminación
Topografía		Cambio en la topografía	Cambio en la topografía	Cambio en la topografía	Cambio en la topografía	Cambio en la topografía e inestabilidad	
Suelo	Pérdida de propiedades del suelo	Erosión hídrica y eólica Pérdida de propiedades del suelo	Erosión hídrica y eólica Pérdida del suelo / banco semillas		Pérdida del suelo / banco semillas		
Agua	Asolve de cuerpos de agua	Asolve de cuerpos de agua	Asolve de cuerpos de agua	Asolve de cuerpos de agua Disminución en la calidad y cantidad de agua Alteración del patrón y balance hidrológico	Asolve de cuerpos de agua Disminución en la calidad de agua Alteración del patrón y balance hidrológico	Asolve de cuerpos de agua Disminución en la calidad y cantidad de agua Alteración del patrón y balance hidrológico	
Flora y fauna	Pérdida de vegetación Desplazamiento de la fauna		Pérdida de vegetación Desplazamiento de la fauna		Pérdida de vegetación Desplazamiento de la fauna		

Fig. 2.4. Impactos ambientales derivados de las operaciones de descapote y minado.

El suelo no sólo es afectado en sus propiedades físicas sino también en las químicas y, en su biota. Cuando existe alguna perturbación en el suelo y en la vegetación, las poblaciones de microorganismos sufren efectos adversos (Haselwandter, 1997). La función de la microbiota en la incorporación de materia orgánica y en el ciclaje, fijación y disponibilidad de los nutrimentos se interrumpe con el apilamiento y se pierde la productividad del suelo (Bradshaw, 2000); lo cual sumado a la modificación de las propiedades físicas del suelo, significa que no es posible usarlo en la restauración y tampoco en alguna actividad productiva como la agricultura.

Otra parte impactada de la biota del suelo es el banco de semillas. Este "almacén" de semillas capaces de germinar, y localizado en su mayoría a 2 o 3 cm de profundidad, queda sepultado por toneladas de suelo y roca debido al despalme y disposición del suelo, sin ninguna posibilidad de germinar. Esto impide la recuperación de la vegetación retirada debido a la pérdida de los propágulos y la riqueza de especies (Rokich *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2001). El arribo de semillas viables provenientes de lugares cercanos puede modificar la composición de la vegetación si éste suelo se emplea como fuente de semillas después de cierto tiempo en apilamiento (Rokich *et al.*, 2000; Ghose, 2001).

Además, debido a la colocación de grandes volúmenes de suelo, se modifica la topografía del lugar y surgen los problemas de erosión tanto hídrica como eólica. La magnitud de estos depende de la longitud e inclinación de las pendientes de las cañadas, la frecuencia e intensidad de las lluvias y el viento, así como la erodabilidad del suelo, es decir, la facilidad con que puede erosionarse.

A su vez, la erosión del suelo conlleva a otros impactos como la emisión de polvo a la atmósfera por efecto del viento. Este fenómeno es particularmente grave en las zonas áridas o al cabo de largos períodos de sequía en las regiones de lluvias periódicas o estacionales porque las partículas permanecen sueltas y son fácilmente transportadas por el aire (Antón, 2001; Pulido-Bosch *et al.*, 2004). Al mismo tiempo, la sedimentación de las partículas del suelo y polvo ocasiona el asolve de cuerpos de agua, que representa la reducción en la capacidad de presas, lagos y estanques, así como de la capacidad de conducción de corrientes y la destrucción del hábitat de la fauna acuática (Moran, 2000). Estos impactos pueden ser permanentes.

Según Bradshaw (1997) los rangos de tiempos estimados tanto de procesos físicos como biológicos necesarios para recuperar un ecosistema natural fuertemente perturbado como sucede al abrir una mina superficial son los que aparecen en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Procesos físicos y biológicos involucrados en la sucesión (Bradshaw, 1997).

Procesos físicos		Procesos biológicos	
Tiempo (años)	Proceso	Tiempo (años)	Proceso
1-100	Rompimiento de superficies compactadas por intemperismo	1-50	Inmigración de especies apropiadas de plantas
1-1000	Acumulación de material fino por intemperismo de las rocas	1-50	Establecimiento de especies apropiadas de plantas
1-1000	Descomposición de minerales del suelo por intemperismo	1-10	Estabilización de la superficie y acumulación de materiales finos por las plantas
1-100	Mejoramiento en la disponibilidad de agua en el suelo	1-100	Acumulación de nutrientes por las plantas a partir de minerales del suelo
1-1000	Liberación de nutrientes minerales a partir de minerales del suelo	1-100	Acumulación de nitrógeno por fijación biológica y por entradas desde la atmósfera
10-10000	Lixiviación de materiales móviles a partir de la superficie a capas más profundas	1-20	Inmigración de flora y fauna del suelo soportada por la acumulación de materia orgánica.
100-10000	Formación de horizontes distintivos en el perfil del suelo	1-20	Cambios en la estructura y función del suelo debido a las plantas, microorganismos del suelo y actividades de los animales
		10-1000	Reducción en toxicidad por acumulación de materia orgánica y lixiviación.

El lapso de tiempo que puede llevar a la formación de un perfil de suelo bien definido está en el orden de cientos a miles de años y el establecimiento de plantas puede ocurrir naturalmente entre 1 y 50 años. La cobertura vegetal en estos sitios degradados ocurre muy lentamente debido a las condiciones de infertilidad y toxicidad así como a las malas condiciones físicas del sustrato. Una cobertura del 90% de hierbas y árboles puede tomar al menos 55 años como se reportó en una mina de carbón en Illinois (Bradshaw y Chadwick, 1980).

Por las razones expuestas en los párrafos anteriores y sin considerar la intervención humana, los impactos sobre el suelo y la vegetación son temporales y reversibles a grandes escalas de tiempo, a menos que exista, por ejemplo una flora poco común o la presencia de especies endémicas que se haya perdido, porque entonces se trata de impactos irreversibles y permanentes. No obstante, debido al grado de modificación, y a través de prolongados lapsos de tiempo se establece un ecosistema con una composición vegetal y animal distinta. En escalas más reducidas en tiempo, los impactos son permanentes e irreversibles, lo que significa una merma de los recursos naturales que a su vez conlleva impactos sociales que más adelante se analizarán.

Fragmentación de las rocas

Cuando se ha retirado la vegetación y el suelo, se inicia la barrenación y la voladura, usadas toda vez que el material estéril está conformado de rocas duras y consolidadas. En los casos donde la roca no está consolidada se emplea el ripeo sin necesidad de usar explosivos.

Debido a las detonaciones se producen: ruido, polvo, vibraciones en el suelo que dañan estructuras cercanas, y rocas en vuelo que son la principal causa de accidentes y daños a equipos. La magnitud de éstos impactos se relaciona con la profundidad y tipo de roca estéril a detonar, la cantidad de explosivo que es detonado en un momento y la frecuencia con la que sucede (Sengupta, 1993, Hernández, 1995.) Otro de los impactos es la contaminación atmosférica ocasionada por los vapores de las voladuras (Anónimo, 1993.)

Con la eliminación de las rocas ubicadas sobre la mena, comienza la modificación topográfica más obvia del lugar de explotación. En consecuencia se generan condiciones ambientales (microclimáticas) diferentes, por ejemplo cambian la radiación solar recibida, los patrones de temperatura y evaporación, se modifica la dirección del escurrimiento y el movimiento de los sedimentos en la superficie (Walker y Powell, 2001; Priego y Bocco, 2003); lo cual representa un incremento en la sedimentación y asolve de los sistemas de drenaje así como la emisión de polvo.

Las pendientes de los taludes de las minas superficiales generalmente son muy abruptos, lo que origina inestabilidad en la zona. Por ejemplo en una cantera de calizas en Veracruz se tenían pendientes entre los 65° y 85°, como consecuencia, el establecimiento de la vegetación se dificultó hasta que se modificó el diseño de las taludes (Márquez, 1999).

En el caso de los bancos de materiales abandonados además existen otras implicaciones. Con frecuencia éstos se generan en la periferia de poblados en crecimiento para satisfacer la demanda de vivienda y construcción de servicios públicos. Al quedar baldíos se transforman en basureros, por lo que después constituyen focos de elevada insalubridad para un gran número de personas. Ejemplos de lo anterior se observan en el área conurbana al Distrito Federal.

Derivado de la voladura y la extracción de rocas, existen afectaciones al agua subterránea en su calidad y cantidad. En muchos casos se hace necesario bajar el nivel de las aguas subterráneas para evitar que éstas penetren en la mina. Esto se logra mediante pozos abiertos, ubicados dentro y alrededor de la explotación, los cuales hacen descender el nivel de agua por debajo del piso inferior de la mina; ello permite explotar la mina en seco. Por lo general, el agua de los pozos no está contaminada y puede evacuarse directamente en las aguas superficiales, no obstante las consecuencias de la reducción del nivel freático son significativas:

deseccación de pozos en los alrededores, hundimientos del terreno, alteración parcial o total de la vegetación en el área adyacente por cambios en el nivel freático. La magnitud del impacto no sólo abarca el área minada sino que puede alcanzar un radio de varios kilómetros (Anónimo, 1993; Sengupta, 1993).

Algunos datos sobre los volúmenes de extracción de agua por la industria minera en México se presentan en la tabla 2.3. La extracción anual global tanto superficial como subterránea en un año según López *et al.*, (2001), se estimó en 64.4 millones de m³, lo que equivale a dotar de agua a una población de 882 mil habitantes con 200 litros diarios por persona durante un año. La descarga se estimó en 35 millones de m³, lo cual significa que se pierde el 45% del agua extraída.

Tabla 2.3. Estimaciones del uso del agua en la industria minero metalúrgica. Tomado de López *et al.*, (2001). Extracción: volumen de agua de primer uso obtenida de fuentes superficial o subterránea. Recirculación: volumen que no ha estado en contacto directo con insumos o productos y que entra al proceso después de un tratamiento mínimo. Demanda: Volumen que por diseño requiere el proceso. Consumo: volumen que se pierde por evaporación, infiltración, o incorporado como producto final. Descarga: volumen residual que retorna a un bien nacional o a la red de drenaje municipal.

Giro minero	Extracción (m ³ /año)	Recirculación (m ³ /año)	Demanda (m ³ /año)	Consumo (m ³ /año)	Descarga (m ³ /año)
Metales preciosos	25'632'534	20'511'451	46'144'015	11'676'303	13'956'232
Metales no ferrosos	6'810'026	16'041'354	22'851'350	2'685'910	4'124'115
Minerales siderúrgicos	21'149'833	37'107'785	58'257'618	12'991'538	8'168'298
Minerales no metálicos	10'782'756	15'222'857	29'005'513	2'156'551	8'626'204
Total (m³/año)	64'375'149	91'883'477	156'258'526	29'510'302	34'864'847
Población equivalente	881'551	1'256'675	2'140'529	404'251	477'601

La minería superficial interviene además en el régimen de aguas superficiales mediante la captación y canalización de corrientes de agua. Las obras se extienden tanto al perímetro de la mina como a las superficies de explotación, y tienen por finalidad proteger la mina contra flujos de aguas superficiales y subterráneas. Los cauces de los ríos son desviados alrededor de la mina, mientras que el agua superficial acumulada proveniente de precipitaciones o de drenaje de taludes se recoge en estanques y se vierte en la red hídrica natural (Anónimo, 1993).

Uno de los impactos ocasionados en la calidad del agua por el minado superficial es la producción de drenaje ácido (DA). Los minerales que contienen sulfuros como la pirita, marcasita, pirrotita, calcopirita, arsenopirita, enargita y tenientita son capaces de producirlo. La oxidación de éstos minerales da lugar a la producción de ácido sulfúrico (H₂SO₄), cuyo pH muestra valores entre 7 y 1.5. Los factores que intervienen en su producción son el aire, la presencia de agua, la actividad microbiológica (en especial de *Thiobacillus ferroxidans*), y la temperatura (Gatica y Santos, 2003). Metales como el hierro, cobre, aluminio y plomo son fácilmente disueltos por la acidez producida (Costigan *et al.*, 1981; Anónimo, 1997; Miller, 1998; Paktunc, 1999).

Las paredes de los tajos o las rocas estériles exponen los minerales de sulfuro ante el aire, y el agua proveniente de los acuíferos interceptados en los tajos y la lluvia; de esta manera son la fuente productora del drenaje ácido (Housman y Hoffman, 1992).

El bombeo y la descarga del drenaje ácido proveniente de los tajos hacia ríos, lagos u otros cuerpos de agua provoca la pérdida de la vida silvestre acuática debido a la contaminación por metales pesados disueltos y la acidez del agua, y la incorporación de los metales en las cadenas tróficas (Calva y Torres, 2004). Así mismo, la interconexión de tajos con obras mineras subterráneas puede dar lugar a la contaminación de los acuíferos de la zona, por lo que agua es inapropiada para el consumo humano (Housman y Hoffman, 1992).

Los metales pueden alcanzar otros lugares y provocar daños no sólo en los animales sino en las personas localizadas a grandes distancias. Si la contaminación alcanza zonas donde se desarrolla alguna actividad económica sustentada en la captura de peces u otro organismo acuático, también se producen impactos económicos y de salud pública⁵ (Moran, 2000).

Cuando el proceso de generación del drenaje ácido ha comenzado es extremadamente difícil detenerlo y puede prolongarse por siglos o milenios (MMSD, 2002). En ambientes húmedos y lluviosos, el drenaje ácido puede llegar a ser un gran problema comparado con aquellos sitios donde la precipitación y la humedad son escasas (Costigan et al, 1981; Bradshaw, 1983).

Las minas que extraen metales o carbón son las que regularmente presentan éste problema. Sin embargo, el drenaje ácido no es un problema de todas las minas, incluso en zonas ricas en sulfuro. En algunos casos la oxidación puede ser inhibida por la falta de agua u oxígeno. En otras situaciones, la presencia simultánea de minerales como los carbonatos, la cal, hidróxidos metálicos y silicatos neutralizan el ácido (Anónimo, 1997).

Hasta el momento no es posible anticipar con certeza la ocurrencia del drenaje ácido, además existe poco conocimiento sobre el tema (MMSD; 2002). En algunos casos, el drenaje se detecta desde el principio de las operaciones mientras que en otros, pasan varios años antes de que se manifieste. Un análisis de las muestras de rocas encajonantes (o estéril) así como de las condiciones ambientales es un acercamiento a la predicción de la generación de DA (Gatica y Santos, 2003). La

⁵ Los metales pesados tienen una alta persistencia en el ambiente debido a que no pueden degradarse ni biológica ni químicamente en la naturaleza, por lo que permanecen largos periodos de tiempo y están disponibles para los organismos. Algunos de los efectos que producen los metales pesados en la salud humana son anomalías cromosómicas, daños en los riñones y cerebro; alteraciones dérmicas (melanosis), neurológicas (convulsiones, coma), intestinales (diarrea, vomito), hepáticas (cirrosis), sanguíneas (anemia). El cáncer es el principal efecto a largo plazo de la exposición crónica al As inorgánico. En otros seres vivos las afectaciones son diversas como osteoporosis, supresión de la puesta de huevos, disfunción renal etc.

prevención de este problema consiste en controlar los factores de formación, es decir, impidiendo el contacto con el aire y agua.

El tratamiento y las estrategias de control una vez que se ha generado el DA son costosos y puede tratarse mediante la rizofiltración en pantanos artificiales o a través una planta de tratamiento de agua que emplea cal para neutralizar el ácido; otras opciones son la compactación del material productor, la reducción de la infiltración del drenaje, el control de la difusión de oxígeno, la mezcla con material que consume ácido entre otros (Ensley et al, 1995; Cunningham y Ow, 1996; Miller, 1998; Wong, 2003).

Al finalizar la explotación superficial, las depresiones (o el "vaso") creadas por la extracción del mineral y del material estéril en ocasiones se llenan hasta el nivel freático y se convierten en lagos, los cuales generalmente se alimentan de aguas subterráneas. El acuífero recupera su nivel de acuerdo con la profundidad de la mina y las condiciones hidrogeológicas; el tiempo de recuperación puede tomar décadas (Anónimo, 1993). Si las paredes de la mina son fuente del drenaje ácido, o el fondo esta contaminado con sustancias solubles, puede deteriorarse la calidad del agua subterránea por la liberación de metales pesados.

La creación de lagos ha sido vista como una opción de desarrollo económico mediante un uso recreativo o productivo en la zona minada; sin embargo, no todas las minas pueden originar lagos. Algunas opciones que se emplean al finalizar las operaciones son intentar recrear la topografía previa a la extracción o crear una diferente pero más estética, aunque en ocasiones la primera no es posible ejecutarla.

En las canteras de dimensiones regulares, cuando existe suficiente material de desperdicio, se puede intentar recrear la topografía a través del uso de sistemas de información geográfica con la carta topográfica del sitio en su estado previo a la extracción (Duque et al, 1998; Jim, 2001; Hancock, 2004). En este sentido, podemos decir que el impacto es reversible y recuperable; sin embargo, los efectos sobre la hidrografía subterránea, o sea, sobre los acuíferos pueden ser considerables por lo que en tales casos es preferible evitar dañarlos, sobre todo en las regiones donde el agua es escasa como en las zonas áridas.

En el caso de los tajos, la situación es diferente. La idea de rellenar estas minas con el material estéril es impráctica ya que los costos de manejo de materiales son usualmente el componente más caro de los costos de minado. Por ello, la mayoría de los esfuerzos de reclamación esta dirigido hacia el área de disposición de residuos (Bohnet y Kunze, 1990).

Además del problema de los costos, existen los de carácter técnico que en buena medida evitan la recuperación de la topografía original. Durante la excavación, el

material residual aumenta en volumen 10 a 60%, dependiendo del tipo, tamaño y forma de distribución. Por lo tanto, la cantidad de mineral (mena) removido usualmente no compensará la gran cantidad de residuos debido al volumen que tienen. El efecto neto es que existe un volumen mayor después de la excavación y si es usado para rellenar el tajo, el nuevo nivel topográfico resulta ser más alto que el original. Sin embargo esto puede resultar inverso cuando el volumen del mineral extraído es mayor que el que se produce como material estéril (Bohnet y Kunze, 1990).

El relleno de las minas ha sido usado cuando se desarrollan *open cast mining* siempre que el diseño de la operación permita llenar la parte minada mientras se excava para abrir en otra parte cercana (Phelps, 1990). Así, el impacto topográfico provocado por los tajos es permanente e irreversible, mientras que en el *open cast mining*, pueden ocurrir casos en los cuales el impacto sea temporal y reversible toda vez que se disponga el material de relleno en la secuencia correcta. No obstante, debe tenerse en cuenta que esto no siempre es lo más recomendable porque en muchas ocasiones existen problemas de contaminación de los acuíferos por la generación de drenaje ácido en el material de relleno (Bradshaw y Chadwick, 1983; Sengupta, 1993).

Manejo de materiales

Durante el manejo del material estéril se genera ruido ocasionado por la maquinaria y las operaciones de carga y acarreo; así mismo, los impactos en la atmósfera se deben al polvo y la contaminación del aire proveniente de las máquinas que operan.

Conforme el proceso de minado avanza, se generan grandes cantidades de residuos conformados por el material estéril. Para mostrar la cantidad de minerales y rocas que se excavan por la apertura de una mina, podemos ver los datos que corresponden a escala mundial en el año 1973 (tabla 2.4). La cantidad total anual de minerales y residuos corresponde, de acuerdo con los datos de la tabla a 1m^3 por persona de la población mundial en aquel año (Janelid, 1973). Teniendo en cuenta el aumento de la población y la demanda por los minerales, es de esperar que el volumen de residuos haya incrementado.

Tabla 2.4. Cantidad de residuos mineros generados en el mundo (Janelid, 1973).

Método de minado	Millones de m^3 de residuos
Minerales :	
Bajo tierra	620
A cielo abierto	1550
Excavación de roca y trabajo de construcción:	
Bajo tierra	130
A cielo abierto	1450

Método de minado	Millones de m ³ de residuos
TOTAL	3750

Al igual que ocurre con el suelo, los residuos generalmente se colocan sobre laderas, el material estéril o de desecho suele acomodarse en ángulos muy pronunciados lo cual provoca la inestabilidad y el peligro de derrumbes, así mismo se facilita la erosión excesiva, y ésta a su vez origina el asolve de cuerpos de agua (Grunwald, et al 1995.)

La disposición de los enormes volúmenes de roca provoca la eliminación del suelo y vegetación presentes en el área de disposición, así como el desplazamiento de la fauna; y, al mismo tiempo se modifica la topografía del lugar. Esta situación, sumada a la pérdida de cobertura vegetal se percibe como un cambio drástico en el paisaje

Otros impactos producidos por el material estéril son la producción de drenaje ácido y la contaminación por metales pesados. Las rocas que conforma el material estéril se consideran como residuos porque no tienen el valor económico que amerite su explotación; sin embargo, este hecho no lo exenta de presentar minerales productores de drenaje ácido.

El intemperismo al que está expuesto el material estéril y la presencia de minerales con sulfuros, son algunos de los requisitos para que se produzca el drenaje ácido. Si éste se forma, se liberan metales pesados que son arrastrados por el agua y contaminan los sitios que están a su paso.

Minado: Barrenación y voladura

Después del descapote, la mena queda expuesta e inicia su extracción a través de las operaciones de barrenación y voladura, posteriormente la mena extraída se transporta hacia la planta de procesamiento.

Los impactos producidos en las operaciones de barrenación y voladura de la etapa de minado, son los que aparecen durante las mismas operaciones en la etapa de descapote.

Como la mena es el material de interés, el manejo de materiales consiste en transportarla hacia la planta de procesamiento. Los impactos que se derivan de las operaciones de carga y acarreo son la emisión de polvo, la generación de ruido y la contaminación atmosférica producida por la quema de combustible de los vehículos y la maquinaria.

Comparando las etapas de descapote y de minado, se puede decir que los mayores impactos de la minería superficial se presentan durante la primera etapa,

porque al ser el preámbulo de la extracción de la mena, se realizan las operaciones que transforman el paisaje (desmonte, despalme, barrenación, voladura, manejo de residuos). Las operaciones realizadas para extraer directamente la mena magnifican y prolongan los impactos ya producidos en el descapote.

La eliminación de la vegetación (y sus propágulos), el suelo, la generación de drenaje ácido, la disminución en la calidad y cantidad del agua y la alteración de la topografía declinan la productividad del área y dan lugar a una profunda modificación que altera el uso potencial o previo de la tierra en el área que ocupa la mina y en las que se dispone el suelo y el material estéril (Rogowski y Weinrich, 1987). Estos hechos hacen evidente que el ser humano tenga que intervenir para acelerar el proceso de sucesión y regresar el área degradada a una condición ambientalmente aceptable y productiva.

4 OTROS IMPACTOS

Existen tres zonas dentro de una mina con problemas particulares. Una es propiamente la mina en la cual se lleva a cabo la extracción; la segunda es aquella en la cual se dispone el suelo producto del despalme para hacer el tajo y las rocas que no son de interés (sobrecarga o rocas estériles). Un tercer caso se presenta cuando se construye una planta de beneficio y la presa de jales asociada; pero además a su alrededor se establecen diversas instalaciones y obras que la apoyan; y además se construyen unidades habitacionales, centros de recreo, de labores comerciales y de servicios para la población empleada y su familia, todo lo cual también impacta al ambiente (Arvizu, 1997) (Fig. 2.5).

Dichas obras son de abastecimiento de agua y de energía, vías de comunicación, transporte e infraestructura municipal (Sánchez-Salazar, 1990). La ubicación de las plantas de beneficio o procesamiento es determinada por los estudios de factibilidad; en algunos casos se instalan en sitios diferentes a donde se ubican las minas mientras que en otros se construyen en el mismo lugar (Valdes, 1984).

En el último caso, a los impactos producidos por las minas se suman los que se derivan de las plantas. La mena extraída de los tajos se conduce a la planta para iniciar el proceso de beneficio. Este consiste en la trituración de las rocas que conforman la mena y en el uso de técnicas físicas o químicas tales como la flotación física, flotación con reactivos y procesos de lixiviación para separar el o los metales de interés. Durante los procesos químicos se emplean sustancias como el cianuro o ácidos que provocan la contaminación del suelo y agua.

Fig. 2.5 Infraestructura asociada a las minas (Elaborado a partir de Sánchez-Salazar, 1990)

<p>INFRAESTRUCTURA ASOCIADA A LAS MINAS</p>	<p>Abastecimiento de agua Abastecimiento de electricidad Vías de comunicación y transporte Infraestructura municipal Planta de procesamiento Presas de jales Infraestructura para empleados</p>
---	---

Al finalizar el proceso se generan los jales, residuos resultantes de lo que no se aprovechó durante el beneficio. El volumen que ocupan llega a ser considerablemente elevado pues entre el 30 y 80% de la masa del yacimiento no es aprovechado. En México, aproximadamente el 90% de la producción minero metalúrgica da lugar a la producción de jales (Moreno, 1997).

Las obras hechas para disponer de estos residuos, llamadas presas de jales dan lugar a más impactos ambientales. Debido a la extracción y molienda de la cual provienen los jales, quedan expuestos a las condiciones ambientales y al intemperismo; y considerando que están constituidos en esencia por los mismos componentes que se encuentran en la mena, pueden generar drenaje ácido y liberar metales pesados que contaminan los cuerpos de agua cercanos y el suelo. Adicionalmente, dentro de las presas se encuentran restos de los reactivos químicos empleados en la extracción de los metales y éstos pueden ser acarreados por el aire y agua hacia aguas superficiales o subterráneas, ocasionando su contaminación (Bradshaw y Chadwick, 1980; Sengupta, 1993; Wong, 2003).

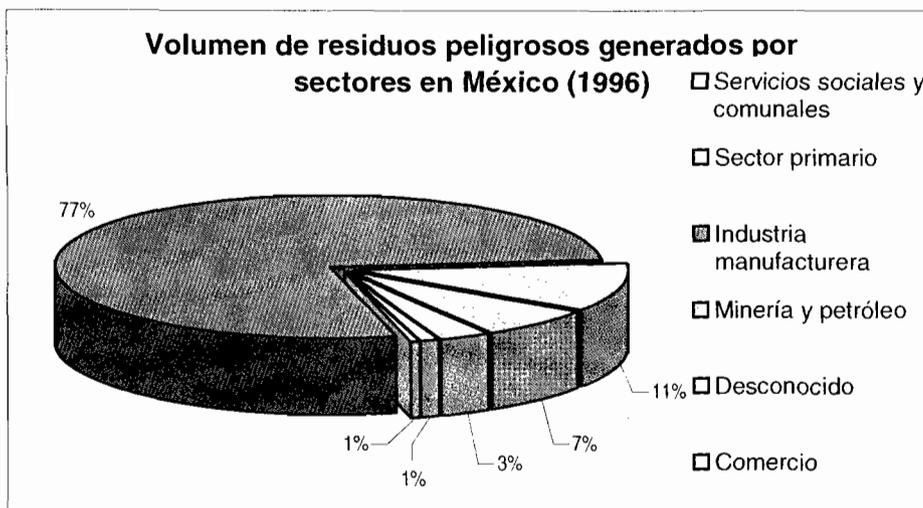
Los jales además constituyen un ejemplo de aerosoles, es decir, diminutas partículas sólidas suspendidas en el aire de diversa composición química que se perciben como polvo, humo o neblina. El aire logra transportar y extender los aerosoles por varios kilómetros y si contienen sulfatos, nitratos o algún otro ion dan lugar a la producción de lluvia ácida que contamina sitios alejados de su fuente.

Quizá por tales razones y por el hecho de que se produzcan altísimas cantidades de éstos residuos, han recibido mayor atención que las minas. Según el informe sobre la situación del medio ambiente (2002), el volumen de residuos peligrosos generados por la minería y el petróleo en México corresponde al 11%. Aún cuando éste valor no permite discernir entre cada rama, constituyen el segundo sector en generación de éste tipo de residuos; y a diferencia de la industria manufacturera que se localiza comúnmente en parques industriales, la minería se desarrolla en

áreas remotas donde generalmente existen ambientes relativamente poco degradados (Fig. 2.6).

No sólo los minerales metálicos son llevados a una planta de procesamiento, los no metálicos como las rocas calizas por ejemplo, son conducidas a una planta para producir cemento. Así, en la explotación de minerales no metálicos puede instalarse en la cercanía de la mina, una planta que también generará impactos ambientales. Uno de los más citados es la contaminación atmosférica originada por el combustible usado en los hornos para la producción de la cal o cal viva y del mortero a partir de rocas calizas. No sólo la quema de los combustibles provoca la contaminación atmosférica, sino que durante la reacción de descomposición del carbonato de calcio se produce dióxido de carbono (CO₂), uno de los gases invernadero que contribuyen al calentamiento global. La reacción es la siguiente: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ (Brown *et al.*,2004)

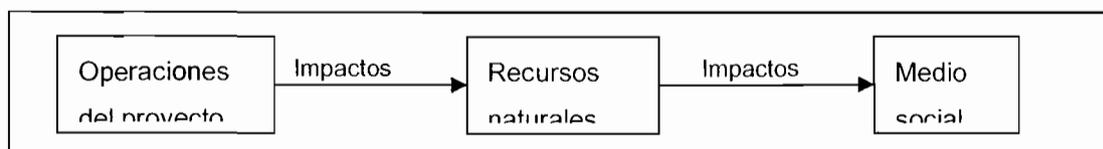
Fig. 2.6. Volumen de residuos peligrosos generados por sectores en México. (SEMARNAT, 2002. Informe sobre la situación del medio ambiente en México)



Impactos Ambientales y Sociedad

En el caso de la minería como de otras industrias se reconoce que el desarrollo de sus actividades impacta al ambiente; sin embargo, pocas veces se admiten las repercusiones económicas y sociales que se derivan de los impactos ambientales. La degradación en conjunto provoca la pérdida de la productividad real o potencial en la zona de extracción minera y repercute en el aspecto económico de la población afectada (Fig.2.7)

Fig.2.7. Relaciones entre los recursos naturales, el medio social y los proyectos productivos.



Por ejemplo los cambios en la cantidad y calidad del agua se reflejan en una menor disponibilidad para riego de cultivos o para el consumo humano y del ganado. Esto da lugar a la competencia por el agua disponible por diversos sectores sociales y económicos, especialmente en zonas áridas donde es un recurso escaso⁶. Al mismo tiempo, la disminución de la cantidad de agua y la necesidad por esta provocan que se busque el recurso a mayores profundidades o se traslade desde sitios más alejados. La consecuencia económica es un incremento en los costos debidos a las obras necesarias para obtener agua, y/ o pérdidas agropecuarios debidas a la escasés (Tabla 2.5).

Tabla 2.5. Efectos económicos y sociales derivados de los impactos ambientales ocasionados por la minería superficial.

Elementos Ambientales		Impactos ambientales	Efectos económicos/ sociales
Agua	Cantidad	Disminución del nivel freático local o regional.	Incremento en los costos de bombeo de agua a la superficie y de transporte.
		Reducción del flujo en corrientes de agua y/ o nivel de lagos.	Afectación a usos agropecuarios y domésticos.
		Desviación del curso de aguas de otros lugares para abastecer las necesidades de la mina.	Reducción del abastecimiento para los poblados. Competencia por el agua con otros sectores de la sociedad, principalmente en ambientes secos. Afectación a las actividades que dependen del curso de agua.
	Calidad	Contaminación de aguas superficiales y acuíferos.	Daño en el abasto de agua para uso doméstico, municipal, agropecuario. Afectación a la salud humana y de la vida silvestre.
Suelos	Contaminación		Enfermedades resultantes de los alimentos cultivados sobre suelo contaminado (toxicidad). Merma en la producción agrícola.
			Pérdida de la productividad del suelo (agrícola o forestal)
	Erosión		Impactos estéticos (capas de polvo sobre vehículos, casas etc). Daño en cultivos.
			Asolvamiento de cuerpos de agua.
Aire	Emisión de grandes cantidades de polvo	Enfermedades respiratorias (por ejemplo silicosis), de la piel, alergias.	

⁶ El balance nacional del agua subterránea es positivo en su conjunto, ya que la extracción representa sólo el 53% de la recarga natural. Sin embargo, este balance es heterogéneo, por ejemplo, en las zonas áridas y semiáridas del centro, norte y noroeste del país, la cantidad de agua extraída de los acuíferos es mucho mayor de la que se recarga, es decir, existe una fuerte sobreexplotación. (<http://www.apps.cofemer.gob.mx>).

Elementos Ambientales	Impactos ambientales	Efectos económicos/ sociales
Vegetación	Pérdida de la cobertura e incremento en la sedimentación en cuerpos de agua.	Afectación en organismos acuáticos comestibles. Asolve de cuerpos de agua.

Otro ejemplo es la afectación sobre la calidad del agua superficial y subterránea. Esta se ve alterada principalmente por la contaminación proveniente de la generación de drenaje ácido y la liberación de metales pesados, a las sustancias empleadas en la voladura (nitratos y amonio), por el uso de sustancias peligrosas durante el beneficio (mercurio, cianuro, ácidos orgánicos entre otros). La manifestación más desfavorable de la contaminación es sobre la salud humana y es una expresión clara de cómo la modificación del ambiente repercute en la sociedad.

Al igual que los acuíferos y aguas superficiales contaminadas no son adecuados para uso doméstico y agropecuario, el suelo contaminado por metales pesados queda inhabilitado para la siembra de cultivos, y puede bajar el rendimiento de las cosechas. La contaminación del suelo significa la pérdida de recursos naturales básicos para el desarrollo de la sociedad. El tratamiento del suelo y agua puede ser muy costoso o difícil de implementar

La suma de la alteración topográfica, de los patrones hidrológicos así como la pérdida de suelo y su fertilidad restringen el desarrollo de la agricultura, silvicultura y ganadería; estas circunstancias a su vez, limitan o impiden oportunidades de desarrollo económico en la zona afectada, lo cual significa la eliminación de fuentes de ingreso para la población local.

5 FACTORES DE DISEÑO E IMPACTOS AMBIENTALES

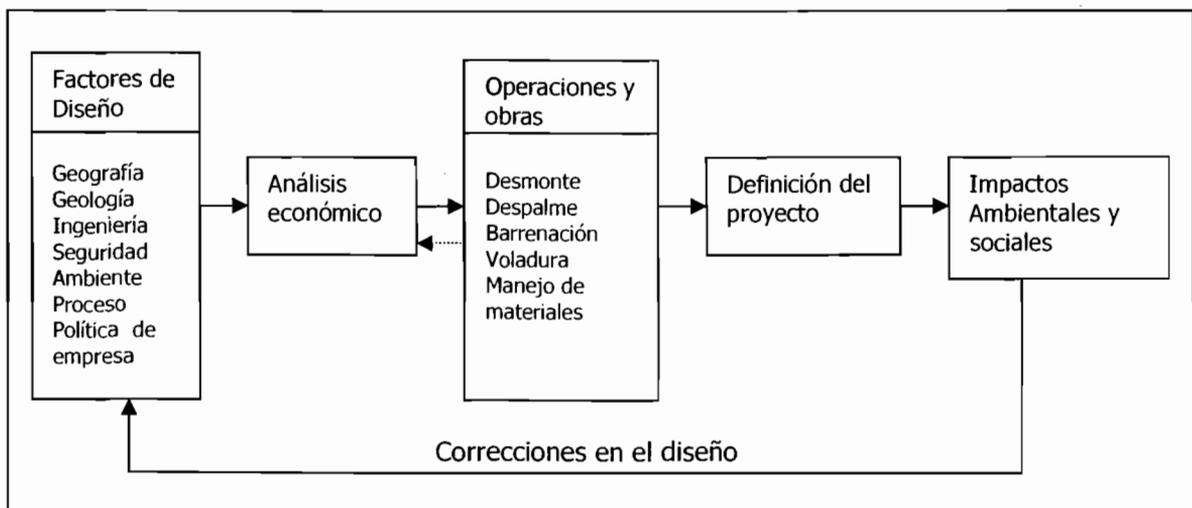
Los factores de diseño de una mina son de gran importancia ambiental porque se traducen en impactos ambientales (Fig. 2.8). En general, dentro del factor ambiental sólo se contemplan los impactos ambientales derivados del manejo de los residuos, conformados por el material estéril y los jales. No obstante, como se ha visto en el presente capítulo, durante cada operación de descapote y minado se originan impactos que afectan a cada uno de los elementos ambientales (topografía, atmósfera, suelo, agua y biota).

Si bien los factores de diseño son utilizados en última instancia para alcanzar el óptimo económico en la explotación, éstos, al mismo tiempo, pueden usarse para prevenir los impactos ambientales. Así, durante el diseño de una mina superficial es posible prevenir o minimizar los impactos cuando cada factor de diseño considera las consecuencias ambientales que se desprendan de la elección de diseño.

Por ejemplo, dentro del factor geográfico se consideran la topografía, la localización de carreteras así como las condiciones climáticas que en conjunto son importantes en el diseño y ubicación de caminos y taludes. Esto último determina la magnitud de los posibles impactos sobre la vegetación presente, la geomorfología, la erosión, entre otros.

Por otro lado, el factor geográfico debe incluir la caracterización del lugar que rodea el yacimiento minero, no sólo para construir la infraestructura de apoyo sino para prevenir los impactos ambientales y sociales. Por ejemplo, el conocimiento sobre el uso de suelo (agrícola, ganadero, silvícola, conservación), la hidrología y el clima, brindan elementos para tomar decisiones sobre dónde se producen los menores impactos ambientales al momento de colocar los residuos del descapote.

Fig.2.8. El diseño de las minas determina los impactos ambientales y sociales, y al mismo tiempo puede prevenirlos o mitigarlos.



Otro ejemplo es el factor geológico que proporciona información sobre las estructuras geológicas, la hidrología, la forma, tamaño y profundidad de la mena, el tipo de mineral así como su distribución. Estos datos apoyan a la ingeniería de minas para determinar el grado de pureza del mineral, el diseño óptimo de la explotación del yacimiento, la forma de la mina (profundidad, ángulos de taludes y límites finales) y la ubicación de los residuos producidos durante el descapote (Hernández, 1992).

El diseño óptimo, tradicionalmente se refiere al aspecto económico de la extracción de los minerales pero no considera los costos por concepto de manejo ambiental de los residuos (Ramírez y Peralta, 2003). Por ello, el diseño de la mina debe encontrar un óptimo económico que considere la minimización del material estéril generado, lo que significará menores impactos ambientales.

Al mismo tiempo, durante el diseño también deben considerarse los impactos derivados de la modificación topográfica (determinado por la profundidad de la mena), la estabilidad y la erosión (definidos por los ángulos y la altura de los taludes) entre otros ejemplos.

Aún cuando no se tiene control sobre los factores naturales, el conocimiento y el grado de descripción de éstos, permitirá usar el equipo adecuado y diseñar las obras necesarias para evitar, disminuir y restaurar la zona degradada en la medida de lo posible. La tabla 2.6 muestra cada uno de los elementos ambientales, los impactos y los factores que los determinan.

Tabla 2.6. Efectos sobre los elementos ambientales debidos a la minería y sus factores determinantes.

Elementos ambientales		Impactos	Factores naturales determinantes	Factores de diseño determinantes
Topografía	Agua superficial	Deterioro de la calidad del agua Alteración del patrón y balance hidrológico Asolve	Precipitación natural Topografía natural Patrones de drenaje natural Densidad de la vegetación Geoquímica del material estéril Estratigrafía del material estéril Clima	Obras de captación y canalización de corrientes de agua. Ubicación de los terreros
	Agua subterránea	Descenso del nivel freático Disminución de la cantidad de agua Hundimientos de terrenos Alteración de la vegetación Deterioro de la calidad del agua	Altura natural del manto acuífero. Tasas y direcciones del flujo del agua subterránea Características del acuífero Clima Características del material estéril	Plan de minado (profundidad). Construcción de pozos abiertos.
	Paisaje	Cambio en la topografía, inestabilidad Generación de residuos	Profundidad y distribución de la mena Volumen del material estéril.	Plan de minado Construcción de infraestructura de apoyo Inclinación de los taludes y terreros
Atmósfera		Ruido Polvo Contaminación	Precipitación Viento (dirección y velocidad) Tipo de suelo	Detonaciones Vehículos y Maquinaria en general

Elementos ambientales	Impactos	Factores naturales determinantes	Factores de diseño determinantes
Suelo	Erosión Pérdida de suelo Pérdida de propiedades del suelo Vibraciones	Precipitación Viento Tipo de suelo Erodabilidad Pendiente	Vehículos, maquinaria pesadas Diseño y ubicación de los terreros Diseño de los taludes de la mina Detonaciones
Vegetación y fauna	Pérdida de la vegetación y desplazamiento de la fauna	Distribución de la vegetación	Extensión y lugar de la mina, ubicación de la infraestructura de apoyo

CONCLUSIONES

La extracción de los minerales ocurre en localidades apartadas donde el deterioro ambiental generalmente es mínimo o mucho menor en intensidad comparado con el originado por la minería. La degradación producida en las tierras explotadas mediante las distintas formas de minado superficial, es la consecuencia del desarrollo de las operaciones; sin embargo, el conocimiento sobre los factores naturales determinantes de los impactos permite diseñar los proyectos de minería superficial buscando no sólo un óptimo económico sino ambiental.

Los beneficios ambientales que se generen a partir de la planeación de las operaciones de las minas superficiales deberán propiciar las condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de las poblaciones locales afectadas, lo cual incluye asegurar la salud de los pobladores, reducir el riesgo de contaminación en el aire, agua y suelo durante las operaciones y después del cierre, conservar la biodiversidad, afianzar la disponibilidad de agua para las comunidades ubicadas dentro del área de influencia de la mina y para la vida silvestre. El manejo del agua es un punto crítico pues los grandes tajos se localizan principalmente en la zona árida del país, en donde este elemento es escaso y limitante del desarrollo económico de las poblaciones locales.

Por ello, la planeación de las minas es un elemento clave que debe tener en cuenta los aspectos ambientales desde el principio, durante el desarrollo de los estudios de factibilidad. Dentro de éstos, deben incluirse las medidas necesarias de prevención y la incorporación de aspectos de restauración de las nuevas minas, pues a pesar de prever impactos ambientales desfavorables, la minería trae consigo modificaciones importantes en el medio que no pueden evitarse como es el hecho mismo de extraer enormes cantidades de rocas que en suma modifican y degradan el paisaje. No obstante, adelantarse a las condiciones o especificaciones necesarias en el diseño de las minas para favorecer la restauración, puede ahorrar tiempo y esfuerzos desde antes de su apertura.

Donde no se cuenta con las ventajas de los nuevos proyectos es en las minas superficiales abandonadas porque no existió ninguna medida de prevención. Por tales omisiones se puede pronosticar que la erosión, la pérdida de suelo, el asolvamiento de cuerpos de agua, la disminución en la calidad y cantidad de los acuíferos, la contaminación en el suelo, el drenaje ácido, grandes cantidades de residuos y el empobrecimiento de la cobertura vegetal y de la fauna, son los principales problemas de estos sitios. Así, los trabajos de restauración deberán atender estos en su mayoría en ambientes de tipo seco como los matorrales xerófilos, los bosques tropicales caducifolios y los bosques de pino y encino. Estos escenarios naturales representan retos para el establecimiento de la vegetación debido a que la baja disponibilidad de agua es determinante. Proyectos de investigación sobre la sucesión primaria en estos ecosistemas son necesarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, T. y T. Starr. 1982. *Hierarchy. Perspectives for ecological complexity*. University of Chicago Press, Chicago. 310 pp.
- Anónimo, 1993. "Minería a cielo abierto". Págs. 173-193. En *Guía de protección ambiental. Material auxiliar para la identificación y evaluación de impactos ambientales*, Tomo II Economía agropecuaria, minería y energía, actividades industriales y artesanales. Ministerio Federal de Cooperación económica y desarrollo (BMZ). Alemania.
- Anónimo, 1997. Memorias del Segundo seminario sobre presas de Jales. Universidad de Guanajuato. Asociación de Ingenieros de minas, metalurgistas y geólogos de México. A.C. Cámara Minera de México.
- Antón, D. 2001. "Impactos ambientales de los tajos y canteras". *Ambientico*. 96.
- Armstrong, D. 1990. "Planning and Design of Surface mines". En *Surface mining*. (editor Kennedy B.A.) USA pág. 459-469.
- Arvizu, F. Eric. 1997. La minería como estructuradora del espacio social y económico del municipio de Guanajuato 1980-1996. Tesis Licenciatura en Filosofía, UNAM. México. 147 pp.
- Begon, M., J. L. Harper y C. Townsend. 1996. *Ecology: individuals, populations and communities*. Blackwell Science 3a Ed. Cambridge, Massachusetts.
- Bohnet, E. L. y L. Kunze. 1990. "Waste disposal- planning and environmental protection aspects". Págs. 485-494. En *Surface mining* 2nd edición. B. A. Kennedy (editor). Society for mining, metallurgy and exploration Inc. (AIME). USA. 1194 pp.
- Bradshaw, A. D. 1983. "The reconstruction of ecosystems". *Journal of applied ecology*. 20: 1-17.
- Bradshaw, A.D. 1997. "The importance of soil ecology in restoration science". In *Restoration ecology and sustainable development*. (Urbanska, K.M., Webb, N. y P.J. Edwards editors). Cambridge University Press. United Kingdom. Pp 33-64

- Brown, T.L., LeMay, H.E., Bursten, B.E. y J. R. Burdge. 2004. *Química: la ciencia central*. Pearson Educación. México. 1152 pp.
- Call, R. C. y J. P. Savely. 1990. "Open pit rock mechanics". Pág. 860-882. En *Surface mining*. B.A. Kennedym (editor). AIME. Estados Unidos.
- Calva, L.G. y M.R. Torres. 2004. Metales pesados y sus efectos en organismos. *Contactos*. 51:33-42.
- Costigan, P. A., Bradshaw, A. D. Y R. P. Gemmell. 1981. "Reclamations of colliery spoil: Acid production potential". *Journal of applied ecology*. 18 (3):865-878.
- Costigan, P.A., Bradshaw, A.D. y R.P. Gemmell. 1981. "Reclamation of colliery spoil I: Acid production potential". *Journal of Applied Ecology*. 18 (3): 865-878.
- Cunningham, S. D. y D. W. Ow. 1996. "Promises and prospects of phytoremediation". *Plant Physiology*. 110:715-719.
- Duque, J. F., Pedraza, J. Díez, A., Sanz, M. A. y R. M. Carrasco. 1998. "A geomorphological design for the rehabilitation of an abandoned sand quarry in central Spain". *Landscape and urban planning*. 42:1-14.
- Ensley, B., Dushenkov, V., Raskin, I. Y D. E. Salt. 1995. "Rhizofiltration: a new technology to remove heavy metals from aqueous strems". Pág. 153-156. En *New remediation technology in the changing environmental arena*. Sheiner, B. J., Chatwim, T., Kawatra, S. K., y A. E. Turma. (Editores). Society for mining metallurgy and exploration Inc. Michigan.
- Gatica, G. y J. E. Santos. 2003. Identificación y prevención del drenaje ácido de mina, en el proceso de extracción, en minas con sulfuros. Memorias XXV Convención Internacional de Minería. pág. 67-75
- Ghose, M.K. 2001. "Management of topsoil for geoenvironmental reclamation of coal mining areas". *Environmental geology*. 40:1405-1410.
- Gómez, A., Villanueva, L. y H. Castro. 1998. Diversidad vegetal en áreas afectadas por explotación minera en el trópico seco michoacano, un estudio de caso, las minas de Inguarán, municipio de La Huacana. Libro de resúmenes del VII Congreso Latinoamericano de Botánica y XIV Congreso Mexicano de Botánica, pág. 285.
- Hancock, G.R. 2004. "The use of landscape evolution models in mining rehabilitation design". *Environmental Geology*. 46:561-573.
- Hartman, H. 1987. *Introductory mining*. John Wiley & Sons. USA. 633 pp.
- Haselwandter, K. 1997. "Soil microorganisms, mycorrhiza and restoration ecology". In *Restoration Ecology and Sustainable development*. (Ed. Urbanska, K.M., Webb, N. y P.J. Edwards). Cambridge University Press. United Kingdom. P 65-80.
- Hernández, J. 1995. Efecto de las voladuras en el medio ambiente. Memorias del XXI Convención AIMMGM. Acapulco, Guerrero.
- Hernández, J.L. 1992. Geología y Geotecnia aplicada a la estabilidad de los taludes de la zona Chinforinazo centro de la mina a cielo abierto Peña

- Colorada, Colima. Tesis profesional. ESIA –Instituto Politécnico Nacional, México.
- Housman, V. E. y S. D. Hoffman. 1992. "Mining sites on superfund's national priorities list- past and current mining practices". En *Risk assessment, management issues in the environmental planning of mines*. Dirk Van, Marshall Koval y Ta M.L. (editors). Society for mining, metallurgy and explotation. USA. 206 pp.
 - Hustrulid, W. y M. Kutcha. 1995. *Open pit mine planning and design*. Volumen I. A.A Bakelma. Netherlands.
 - Janelid, I. 1973. Misión minera sueca a Latinoamérica. Reunión minera México-Suecia, Intercambio tecnológico. Tomo I.
 - Jim, C. Y. 2001. "Ecological and Landscape rehabilitation of a quarry site in Hong Kong". *Restoration Ecology*. 9(1): 85-94.
 - Karr, J. 1991. "Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management". *Ecological applications*. 1:66-84.
 - López, R. I., Servín, C. y A. Román. 2001. El agua en la minería, su impacto al medio ambiente y el pago de derechos. Memorias de la XXIV Convención internacional AIMMGM. Acapulco, Guerrero.
 - Manner, H. I., Thaman, R. R. y D. C. Hassall. 1984. "Phosphate mining induced vegetacion changes on Nauru Island". *Ecology*. 65(5): 1454-1465.
 - Martín, C. 1999. *El Estudio de impacto ambiental*. Universidad de Alicante. España. 168 pp.
 - McRae, S. G. 1998. "Land reclamation after open pit mineral extraction in Britain". In *Remediation and management of degraded lands*. (M.H. Wong, J.W. C. Wong y A. J. M. Baker editors). Lewis. USA. 364 pp.
 - Meffé G.K y C.R. Carroll, 1994. *Principles of conservation biology*. Sinauer associates. Inc. Massachusetts
 - Miao, Z. y R. Marrs. 2000. "Ecological restoration and land reclamation in opencast mines in Shanxi Province, China". *Journal of environmental management*. 59: 205-215.
 - Miller, S. D. 1998. "Overview of acid mine drainage issues and control strategies". In *Remediation and management of degraded lands*. (M.H. Wong, J.W. C. Wong y A. J. M. Baker editors). Lewis. USA. 364 pp
 - Mining, Minerals and Sustainable Development (MMSD) Project. 2002. Publicado por Earthscan para el International Institute for Environment and Development y el Wold Business Council for Sustainable Development.
 - Moran, R. 2000. Mining environmental impacts –integrating an economic perspective. CIPMA. Chile.
 - Moreno, M. 1997. Impactos ambientales potenciales de las presas de jales. Segundo seminario sobre presas de Jales. Universidad de Guanajuato. Asociación de Ingenieros de minas, metalurgistas y geólogos de México. A.C. Cámara Minera de México.

- Paktunc, A. D. 1999. "Characterization of mine wastes for prediction of acid mine drainage". In *Environmental impacts of mining activities* (J. M. Azcue editor), Springer Alemania. 300 pp.
- Phelps, L.B. 1990. "Unit operations of reclamation". En *Surface mining*. B.A. Kennedym (editor). AIME. Estados Unidos.
- Pulido-Bosch, A., Calaforra, J. M., Pulido- Leboeuf, P. y S. Torres-Gracia. 2004. "Impact of quarrying gypsum in a semidesert karstic area (Sorbas, SE Spain)". *Environmental Geology*. 46:583-590.
- Ramírez, G. D. y A. Peralta. 2003. Evaluación del impacto de las consideraciones ambientales en el diseño y planeación de minas a cielo abierto. Memorias de la XXV Convención Internacional de minería. Pág. 45-54.
- Ramírez, J. 1978. Técnicas de Diseño de Tajos Abiertos. En. Memorias del I Seminario Nacional sobre minado a cielo abierto. México. 577 pp.
- Rogowski, A. S. y B. E. Weinrich. 1987. "Modeling the effects of mining and erosion on biomass production". *Ecological modeling*. 35:85-112.
- Rokich, D. P., Dixon K.W., Sivasithamparam K., y K.A. Meney. 2000. "Topsoil handling and storage effects on woodland restoration in western Australia". *Restoration ecology*. 8(2): 196-208.
- Sánchez-Salazar. Ma. Teresa. 1990. Análisis de la organización territorial de la actividad minera en México. Tesis Doctoral. Colegio de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras UNAM. México.
- SEMARNAT. 2002. Informe sobre la situación del medio ambiente en México.
- Sengupta, M. 1993. *Environmental Impacts of mining, monitoring, restoration and control*. Lewis Publishers. USA. 494 pp.
- Terrazas, A. 1975. *Terminología minera metalúrgica*. Universidad de Guanajuato. México.
- Valdes, C. 1984. Geografía minera de México: Grupo Peñoles. Tesis Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. 178 pp.
- Walker, L. R. y E. A. Powell. 2001. "Soil water retention on gold mine surfaces in the Mojave Desert". *Restoration Ecology*. 9:95-103.
- Wathern, P. (Ed.). 1988. *Environmental impact assessment. Theory and practice*. Routledge, London-New York. 332 p.
- Weber, K. J. 1990. "Mine capital and operating cost". Pág 973-979. En *Surface mining*. B.A. Kennedym (editor). AIME. Estados Unidos.
- Wong, M. H. 2003. "Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils". *Chemosphere*. 50: 775-780.
- Zhang, A. Q., Shu, W.S., Lan, C.Y. y M. H. Wong. 2001. "Soil seed bank as an input of seed source in revegetation of lead/ zinc mine tailings". *Restoration Ecology*. 9(4): 378-385.

LA RESTAURACIÓN DE MINAS SUPERFICIALES EN LAS LEGISLACIONES AMBIENTALES INTERNACIONAL Y NACIONAL

En 1935, Aldo Leopold realizó trabajos de revegetación que intentaban reproducir de manera precisa la naturaleza en una pradera de la Universidad de Wisconsin, con este hecho surgió la restauración ecológica. No obstante, siglos atrás hubo nociones de restauración de minas en el Reino Unido. En dicho país aparecieron las primeras leyes relacionadas con el impacto ambiental provocado por la minería. En 1718, 1845 y 1898 se registraron casos en los cuales la corte dictó nivelar el terreno, separar el suelo del resto de las rocas con la intención de restaurar el sitio a su condición agrícola original (Lee, 1999).

En el siglo XX, durante el movimiento verde de los años 60's, se manifestó el creciente reconocimiento de que la preservación de características naturales tales como escenarios naturales y hábitats de plantas y animales tenían un valor para la sociedad, y, fue ésta misma la que comenzó a ejercer presión sobre los gobiernos para que regularan los impactos ambientales que generan las industrias, entre ellas la minera.

En consecuencia, algunos de los principales países productores de minerales como Estados Unidos, Canadá y Australia comenzaron a legislar en materia ambiental sobre las operaciones mineras superficiales en la segunda mitad del siglo XX. En algunos de ellos su interés por el ambiente ha sido evidente desde mediados del siglo veinte, así lo hacen saber los inventarios sobre las áreas degradadas. Por ejemplo, en 1965 Estados Unidos tenía 1'296'000 ha de tierras degradadas por actividades mineras y en el Reino Unido a mediados de los setenta 5'059 ha fueron tomadas por la minería superficial al año (Bradshaw y Chadwick, 1980; Lee, 1999).

En la primera parte del presente capítulo se analizan las leyes con las que cuentan algunos de los países con actividad minera importante, así como los organismos y acuerdos internacionales que inciden sobre la regulación ambiental de la minería. En la segunda parte, se analiza el desarrollo de la legislación ambiental mexicana para el caso de la restauración de minas superficiales.

PARTE I: EL AMBITO INTERNACIONAL

1 Los Países Desarrollados

Algunos de los países desarrollados son los principales productores de muchos minerales. Estados Unidos, Canadá y Australia ocupan los primeros cinco lugares en extracción de oro, plata, plomo, cobre, zinc, azufre, níquel, yeso y fluorita (INEGI, 2002). Los grandes volúmenes de producción en éstos países implican áreas degradadas por la minería, y al mismo tiempo leyes que regulen la actividad minera sobre el ambiente.

Desde la década de los sesenta y setenta comenzaron a aparecer las leyes ambientales que inciden en la minería. En Estados Unidos el Acta Federal de seguridad de minas de metales y no metales de 1970, regula básicamente el aspecto de seguridad, no el ambiental. Con la promulgación del Acta Nacional de Protección Ambiental de 1969, emergieron las medidas de reclamación en minas superficiales y las regulaciones para prevenir la contaminación en agua y aire, y la generada por residuos. Años más tarde, en 1977, el Acta de control y reclamación de la minería superficial (ACRMS) se aplicó sólo al caso del carbón por considerarlo de importancia nacional; así, el gobierno federal se encarga de la regulación ambiental de este mineral, mientras que los estados están a cargo del resto de los minerales.

El ACRMS especifica detalladamente los requerimientos para la construcción, mantenimiento y recuperación final del sitio en explotación además de marcar los tiempos en que deben mostrarse los resultados. El cumplimiento de las operaciones de recuperación de las minas superficiales se asegura porque el financiamiento se obtiene por un impuesto especial que se aplica a la industria minera del carbón y que depende de la producción anual. En general, el ACRMS es considerado exitoso por el gobierno y la industria; no obstante, el acta es administrativamente costosa y como se trata de un mineral cuyos precios se fijan en los mercados internacionales, los costos adicionales deben ser asumidos internamente por la empresa y en cuanto cae el precio, dichos costos afectan la habilidad de las empresas para que sigan siendo rentables (Lee, 1999).

Las leyes ambientales que regulan el resto de los minerales son muy diferentes. De acuerdo con los intereses de los políticos locales, algunos estados promovieron leyes bien concebidas de recuperación de minas superficiales, mientras otros decidieron no establecer ninguna legislación específica (Lee, 1999). El resultado es una situación muy heterogénea de leyes que varía significativamente en términos de la demanda de los sitios de cada estado en los requerimientos de la industria.

De manera similar a los Estados Unidos, bajo el sistema federal Canadiense, la responsabilidad de la minería yace exclusivamente bajo el dominio de las provincias; la principal diferencia es que no existe una ley equivalente al ACRMS.

Las leyes federales canadienses juegan un papel importante en cómo las minas son recuperadas, por ejemplo, el Acta canadiense de evaluación ambiental (ACEA) y el Acta de Pesquería pueden afectar substancialmente no sólo la forma en que operan las minas, en ocasiones éstas leyes han sido aplicadas para dirigir la forma en que los terrenos mineros son recuperados (Roberts *et al.*, 2000).

Para asegurar el cumplimiento de las responsabilidades ambientales en Canadá y Estados Unidos, los gobiernos emplean instrumentos económicos y financieros diseñados para hacer que las empresas internalicen sus costos ambientales. Estos instrumentos pueden tomar la forma de impuestos, créditos, eliminación de subsidios, garantías financieras; con éstos, se estimula la innovación de la industria para cumplir con las metas que fijan los gobiernos. Así mismo, las empresas aseguran un fondo de garantías para el cierre de las minas antes de que inicie su construcción y operación, la desventaja para las empresas es que los requerimientos regulatorios han incrementado los costos en la industria, no obstante, es mucho más costoso planear la restauración durante la etapa de cierre.

Tabla 3.1. Legislación ambiental aplicable a la minería en países desarrollados.

País		Normas Jurídicas
Australia occidental		<ul style="list-style-type: none"> - Mining Act ,1978 - Department of minerals and Energy, Western Australia, Guidelines for Mining Project Approval in Western Australia (Rev. Ed. Julio 1993) - Guidelines for the application of environmental conditions for onshore mineral exploration and development on conservation reserves and other environmentally sensitive land in Western Australia
Canadá	Columbia Británica	<ul style="list-style-type: none"> - BC Environmental Assessment Act - Mines Act , Revised Statutes of British Columbia,1996 - Health, Safety and Reclamation Code for Mines, 1997 - Environmental Assessment Review able Projects Regulation.
	Ontario	<ul style="list-style-type: none"> - Ontario Mining Act , Revised Statutes of Ontario 1990 - Bill 26, 1996 (Schedule "O" del Savings and Restructuring Act, 1996) - Ontario Regulation 114/91 - Rehabilitation of Mines, Guidelines for Proponents
	Québec	<ul style="list-style-type: none"> - Mining Act (Revised Statutes of Québec), 1994 - Regulation respecting mineral substances, other than petroleum, natural gas and brine - Guidelines for preparing a mining site rehabilitation plan and general mining site rehabilitation requirements
Estados Unidos	Colorado	<ul style="list-style-type: none"> - Colorado Mined Land Reclamation Act - Colorado Land Reclamation Act for the Extraction of Construction Materials
	Nevada	<ul style="list-style-type: none"> - Nevada Administrative Code

País		Normas Jurídicas
	Nuevo México	<ul style="list-style-type: none"> - New Mexico Mining Act - New Mexico Mining Act Implementation
	Sudáfrica	<ul style="list-style-type: none"> - Minerals Act 50, 1991 - Department of Minerals and Energy, Aide-Memoir for the Preparation of Environmental Management Programme Reports for Prospecting and Mining (1992).

En Australia la minería es regulada por el estado y los territorios (*state and territory governments*) debido a que tiene un sistema federal de gobierno. En materia ambiental, el acta de protección ambiental y conservación de la biodiversidad (APACB) define los asuntos de significado ambiental nacional (NES)¹ y asegura que los proyectos que puedan impactar sobre éstos sean examinados y se realice una evaluación de impacto ambiental. El APACB aplica a propuestas del sector minero (McKay *et al.*, 2002).

Cuando se aprueba el desarrollo de un proyecto se ponen condiciones, las cuales normalmente incluyen la necesidad de desarrollar y presentar planes de manejo ambiental (PMA). Dentro de éstos, se incluyen los planes de rehabilitación, que son desarrollados y aprobados antes de iniciar las operaciones de las minas.

Todas las propuestas de minería, si fueron examinadas bajo la EPBCA, son evaluadas y manejadas en términos de su desempeño en salud y seguridad por la legislación en el nivel Estatal, de territorios y gobiernos locales. En Australia, la minería no es permitida dentro de los parques nacionales o reservas marinas.

Para que se lleve a cabo el cumplimiento de los PMA, existen numerosos mecanismos legales a nivel Federal y Estatal que aseguran que las compañías mineras no impacten negativamente, ni dañen el ambiente más allá de lo aprobado. Entre ellas, la posibilidad de remedios administrativos, el uso de sanciones penales, la disponibilidad de remedios civiles y la revisión judicial de la toma de decisiones administrativas. Así mismo, cuentan con el uso de bonos de restauración o garantías bancarias para asegurarse que si una empresa quiebra o falla en rehabilitar un área, el Gobierno pueda completa el trabajo. Por otro lado, si las minas o plantas particulares no están desempeñándose aceptablemente, se pueden tomar acciones que van desde penas financieras hasta su clausura, a los directores de las compañías se les puede aprehender cuando se les demuestra responsabilidad en casos serios.

En la década de los 90, hubo una tendencia progresiva hacia la co-regulación de la minería, involucrando una mezcla de regulaciones de comando y control,

¹ National Environmental Significance (NES) incluye sitios de patrimonio mundial, humedales de importancia internacional, especies y comunidades ecológicas amenazadas, lugares de herencia nacional, especies migratorias protegidas, cetáceos entre otros.

incentivos y castigos. Esto creó sistemas regulatorios eficientes al poner mayor atención en alcanzar los resultados deseados más que en imponer el acatamiento de estándares o normas.

Dentro de las medidas no regulatorias que se comenzaron a utilizar en los noventas para ayudar a alcanzar mejores prácticas en Australia se incluyen las siguientes:

1. El código de Prácticas para el manejo ambiental de la Industria de los minerales que compromete a la industria a la excelencia en el manejo ambiental a través del desarrollo sustentable, continuamente mejorando la aplicación de técnicas de manejo de riesgo, rehabilitación, asignación de metas ambientales, y reportes al gobierno y la comunidad².
2. Folletos informativos sobre mejores prácticas de manejo ambiental en minería, escritos por expertos en el tema.
3. Bajo el programa de reto invernadero, muchas compañías mineras han reducido voluntariamente la intensidad de sus emisiones de efecto invernadero.

Por lo general, en la legislación ambiental de los países desarrollados, el plan de rehabilitación o reclamación de las áreas afectadas por la minería se establece antes del inicio de las operaciones, y los objetivos que debe perseguir la planificación del cierre la guían. Como resultado de la heterogeneidad de las leyes ambientales aplicables a la minería en el ámbito estatal, existe una amplia gama de objetivos que difieren en las condiciones y usos en que debe quedar el área degradada después de la ejecución del plan de cierre.

Tabla 3.2 Objetivos de la planificación del cierre de minas en países desarrollados. Tomado de González, 1999.

PAIS		OBJETIVOS
Australia	Western Australia	- Se debe implementar un uso del suelo posterior a la actividad minera
	South Australia	- Dejar el sitio limpio y seguro después que la actividad minera ha terminado. - Crear las condiciones necesarias para permitir un uso posterior del suelo. - Estabilizar el sitio mediante el control de la erosión. - Eliminar el impacto visual.
Canadá	Columbia Británica	- Los principales objetivos de la recuperación (<i>reclamation</i>), incluyen el uso posterior del terreno, productividad, calidad del agua, y estabilidad de estructuras

² Este código fue lanzado en diciembre de 1996 en nombre de la industria de los minerales. Los firmantes acordaron siete puntos que son: aceptar la responsabilidad ambiental por todas sus acciones. fortalecer sus relaciones con la comunidad. integrar el manejo ambiental dentro de la forma en que trabajan. minimizar los impactos ambientales debidos a sus actividades. estimular la producción y uso responsable de sus productos. mejorar continuamente su desempeño ambiental y dar a conocer este desempeño.

PAIS		OBJETIVOS
	Ontario	<ul style="list-style-type: none"> - Minimizar el impacto de las actividades mineras en la salud y seguridad públicas y en el medio ambiente, a través de la rehabilitación de los suelos mineros.
	Québec	<ul style="list-style-type: none"> - Restaurar el sitio a una condición satisfactoria; - Eliminar peligros inaceptables a la salud y asegurar la seguridad pública; - Limitar la producción y circulación de sustancias que podrían dañar el medio ambiente que las recibe y, en el largo plazo tratar de eliminar el mantenimiento y monitoreo; - Restaurar el sitio a una condición en que sea visualmente aceptable a la comunidad; - Recuperar (reclaiming) las áreas donde las infraestructuras estén ubicadas (excluyendo las áreas de acumulación) para usos futuros. Todas las áreas afectadas por las actividades mineras deben ser revegetadas para el control de la erosión y restaurar la condición natural del sitio.
Estados Unidos	Alaska	<ul style="list-style-type: none"> - Prevenir la degradación innecesaria del medio ambiente
	California	<ul style="list-style-type: none"> - Asegurar que las minas no representan una amenaza para la calidad de las aguas.
	Colorado	<ul style="list-style-type: none"> - Fomentar el desarrollo de la industria minera y rehabilitar las tierras afectadas por las actividades mineras para que puedan tener un uso beneficioso para los ciudadanos del estado, es decir, que el plan propuesto permita alcanzar el uso definitivo indicado por el operador y/o dueño de la superficie.
	Montana	<ul style="list-style-type: none"> - Restablecer la vegetación y estabilizar los suelos
	Nevada	<ul style="list-style-type: none"> - Minimizar los efectos visuales de la etapa posterior al cierre ambiente.
	Nuevo México	<ul style="list-style-type: none"> - Lograr un ecosistema auto-sustentable enseguida del cierre.
Sudáfrica		<ul style="list-style-type: none"> - La salud y seguridad de las personas y animales deben protegerse de los peligros resultantes de actividades mineras. - El daño medio ambiental o los impactos ambientales residuales, deben minimizarse hasta un nivel aceptable para todas las partes involucradas. - La tierra debe rehabilitarse, hasta donde sea posible, a su estado natural o a un estado predeterminado y acordado según estándares que permitan un uso sustentable del suelo. - La estabilidad física y química de las estructuras resultantes, debe ser tal, de modo que los riesgos al medio ambiente no aumenten por la ocurrencia de fenómenos naturales, hasta el límite de que ese aumento del riesgo no pueda contenerse con las medidas instaladas.

PAIS	OBJETIVOS
	<ul style="list-style-type: none"> - La explotación óptima y la utilización de los recursos naturales no se afecten negativamente. - Las minas sean cerradas en forma eficiente y al más bajo costo posible. - Las minas no deben ser abandonadas, sino cerradas de acuerdo con estas políticas.

A pesar de que existen diversos objetivos de la planificación de cierre y compromisos ambientales adquiridos para prevenir impactos, en general, las características de las leyes ambientales en los países desarrolladas han exigido la realización de obras de recuperación de minas lo cual debe considerar aspectos no sólo de salud sino de protección y restauración de terrenos que han sido afectados por la minería superficial. Esto ha resultado en mayores costos de operación para las empresas, y el motivo por el cual la minería ha llegado a reducir su viabilidad económica en su propio país. En consecuencia, la postura u opción que tienen las empresas es localizar sus proyectos en lugares alejados en otros países, por ejemplo, en Reino Unido se aboga para que las grandes canteras se ubiquen en países como España o Noruega (Lee, 1999); este comportamiento podría presentarse en México, que percibió 185 millones de dólares como inversión extranjera directa en minería durante el 2002, siendo Canadá quien participó con 218 empresas (42% del total) seguido de Estados Unidos con 199 (38%) (Secretaría de Economía, 2003).

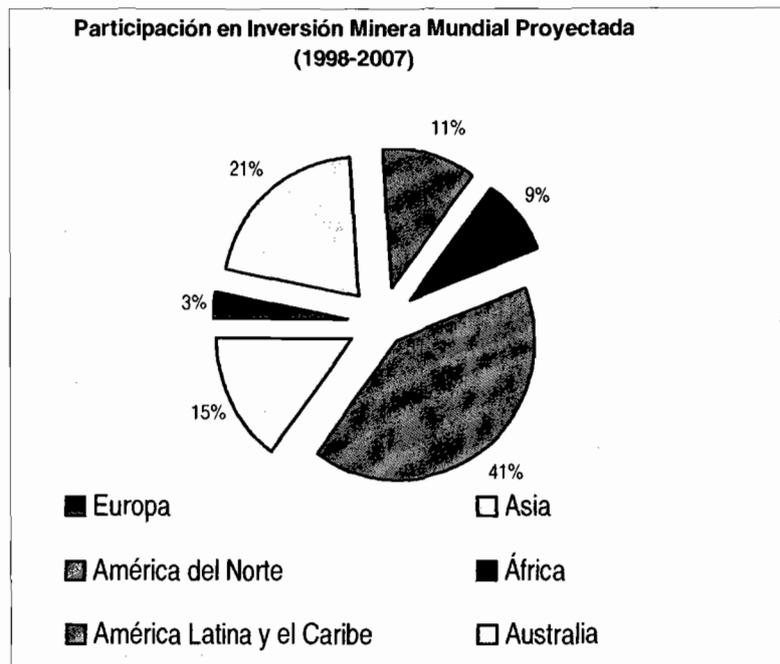
2 Los Países en desarrollo

De acuerdo con datos de la CEPAL, América Latina es prácticamente la principal región minera del mundo (González, 1999; Figura 3.1). La liberalización de las economías llevada a cabo durante los años noventa en los países latinoamericanos así como los incentivos a la inversión en estos países ha atraído un flujo importante de capitales para actividades de exploración y explotación minera.

Por otro lado, las circunstancias externas a estos países, tales como la vigencia de nuevas exigencias ambientales en Canadá y Estados Unidos o la cancelación de incentivos fiscales y el agotamiento de las reservas en algunas zonas mineras en Canadá, animaron el interés por incrementar la exploración en Latinoamérica durante los noventa. Australia se vio motivada a intensificar sus operaciones fuera de sus fronteras por razones similares y además por los altos costos de operación de la minería aurífera en zonas tradicionales como Sudáfrica (Sánchez *et al.*, 1999).

La necesidad de atraer capital extranjero para el crecimiento de la economía en Latinoamérica implica la creación de estrategias que consideren un uso sostenible de los recursos naturales no renovables. Los marcos jurídicos son parte importante en la implementación de políticas que fomenten una mayor integración entre la protección al medio ambiente y el desarrollo.

Fig. 3.1. Distribución de la participación en inversión minera mundial proyectada (1998-2007). Fuente: *Engineering & Mining Journal*, a través de CEPAL.



Argentina, Bolivia, Brasil, Chile y Perú cuentan con instituciones gubernamentales encargadas de la regulación ambiental de las minas durante su vida operativa; por lo general se trata de agencias del medio ambiente y/ o minería. La formulación de políticas y regulaciones están generalmente atadas al nivel federal, mientras que el control y las auditorías de estas políticas pueden ser responsabilidad del gobierno federal, estatal o local, dependiendo de las características del proyecto.

La legislación ambiental en América Latina es en general muy reciente, más aún los lineamientos específicos para la minería (Tabla 3.3). En consecuencia, la demora en la creación de los instrumentos legales aplicables a la protección al ambiente puede representar la acumulación de pasivos ambientales producidos por la minería durante muchos años atrás.

Tabla 3.3 Legislación ambiental aplicable a la minería en América latina.
Elaborado a partir de González, 2000.

País	Ley	Año
Argentina	Ley 24.585	1995
Bolivia	Ley del medio ambiente (1,333)	1992
	Código de minería (Ley 1777)	1997
	Reglamento de prevención y control ambiental	
	Reglamento ambiental para Actividades Mineras	1997
Brasil	Constitución Federal (artículo 225)	1988
Chile	Ley sobre Bases del Medio Ambiente	1994
Ecuador	Ley Minera (artículo 79, 80)	
	Reglamento Ambiental para Actividades Mineras	1997

País	Ley	Año
México	Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente	1988
Perú	Reglamento para la Protección Ambiental en la Actividad Minero Metalúrgica Guía ambiental para el cierre y abandono de minas (voluntaria).	1993

La identificación de las minas que fueron abandonadas desde antes de la aparición de legislación aplicable es un tema pendiente en gran parte de Latinoamérica. Por ejemplo, en México no existe siquiera un inventario sobre este tipo de minas y sólo se tienen datos aislados al respecto (UNEP y Comisión Chilena del cobre, 2001). En contraste, se han llevado a cabo inventarios de minas abandonadas dentro de Estados Unidos con el fin de determinar los riesgos que representan cada una de ellas y procurar atender los problemas que generen (Davis y Webb, 1995). En este mismo país se calcula que existen alrededor de 500'000 áreas de minas abandonadas (Mining watch, 2000), lo cual es un indicador del tamaño del problema que puede esperarse no sólo en el resto de América sino en todo el mundo.

La formación de nuevas áreas de minas abandonadas debe prevenirse para no incrementar el área total degradada por esta actividad. Con la promulgación de leyes ambientales en Latinoamérica se comenzó a dar uso del instrumento legal ambiental conocido como Evaluación de Impacto Ambiental, el cual requiere de un Informe de Impacto Ambiental para que la autoridad correspondiente determine las condiciones en que puede desarrollarse un proyecto a fin de evitar o reducir sus efectos negativos en el ambiente.

La evaluación de impacto ambiental es el común denominador dentro de la legislación ambiental en los países latinoamericanos que puede aplicarse a la minería. De hecho, prácticamente no existen instrumentos específicos para la minería y en particular para la fase post operativa en las minas de esta región del mundo. Las excepciones son Argentina y Perú que han desarrollado un sistema especial para la minería que abarca desde la fase de exploración hasta la fase post operativa aunque en forma general. Bolivia a diferencia del resto, es el único país latinoamericano que cuenta con un marco normativo que considera un instrumento específico para la legislación de impactos mineros post operacionales. Aunque dicha legislación es reconocida como la más elaborada en América Latina, también se percibe compleja, ambigua y prohibitivamente costosa, lo que representa un riesgo para los inversionistas (Blacutt, 1992), y puede significar menor participación del capital en la minería en este país.

Además de la escasa atención que se pone en la última fase de la explotación de una mina en la normatividad ambiental latinoamericana, es importante destacar la omisión de sistemas que garanticen el cumplimiento de las obligaciones de cierre en cada uno de los países mencionados. Ecuador es la excepción ya que cuenta con un sistema de garantías para asegurar el cumplimiento de las actividades

previstas en los planes de manejo ambiental aunque no se trata de una garantía que cubra todos los compromisos ambientales adquiridos sino que únicamente asegura el cumplimiento de las medidas que forman parte de un determinado plan de cierre (González, 1999).

La ausencia de garantías o sistemas que aseguren el cumplimiento de los compromisos ambientales adquiridos por las empresas es una falla importante en las legislaciones latinoamericanas; si no se cuenta con los recursos necesarios para internalizar³ los costos por daños al ambiente, la normatividad y reglamentos aplicables no pueden llevarse a cabo. Esta situación deja en duda la capacidad de la ley para hacer efectivo el plan de cierre o rehabilitación.

A diferencia de las recientes legislaciones ambientales en América latina, los países anglosajones la comenzaron a desarrollar desde hace 20 años. Después de experimentar varios casos de abandono de minas y de sus correspondientes efectos negativos en el ambiente, estos países desarrollaron una legislación que se encargara en concreto de la gestión de los impactos de la etapa post-operacional de las minas.

Los mecanismos de garantía son uno de los puntos esenciales que se contemplan en los planes de cierre de las minas en Canadá y Estados Unidos. Con ello aseguran que se cumplan los compromisos adquiridos por las empresas en la planeación post-operacional. Además de la propia garantía financiera, existen incentivos para el cumplimiento de las obligaciones de cierre; por ejemplo, las provincias Canadienses de Québec y Ontario otorgan el Certificado de Cierre (*certificate of release*) cuando se ha cumplido con todos los requerimientos del plan de cierre.

La importancia del certificado radica en que libera del estricto sistema de responsabilidades ambientales por los efectos mineros post-operacionales que pudieran provenir de la aplicación de la Ley de Protección Ambiental de Canadá en tanto se verifique que se llevaron a cabo los trabajos de acuerdo con el plan aprobado, no se debe ninguna cantidad de dinero y ya no existen riesgos de generación de drenaje ácido.

3 Los Convenios Ambientales Internacionales

Las leyes que regulan la minería están siendo cada vez más estrictas y de mayor alcance como resultado del paradigma internacional del Desarrollo Sustentable. Para la minería, esto significa enfocarse no sólo en cuestiones económicas, sino sobre aspectos sociales, económicos y ambientales, particularmente en países en desarrollo con economías basadas en sus recursos.

³ Internalizar, consiste en incluir en el precio del mercado de bienes los costos de las externalidades producidas en el ambiente, los cuales normalmente no se cuantifican, ni se incluyen en el precio de los productos.

Un principio general de la legislación internacional es que las naciones tienen soberanía, es decir, tienen control supremo, política independiente y control legal sobre sus propios recursos naturales; por lo cual, la exploración, explotación, beneficio de los minerales, la clausura y rehabilitación de las minas están aún bajo la jurisdicción y leyes propias de cada país (Pring, 2003).

Esta soberanía sin embargo no es del todo absoluta. Las limitaciones internacionales han sido elaboradas y continúan en desarrollo en tres formas: 1) El principio internacional que establece que los Estados son responsables de prevenir el daño a otros países de la contaminación a través de las fronteras, 2) acuerdos de tratados específicos y 3) los principios emergentes del desarrollo sustentable.

Existen alrededor de 1000 tratados internacionales enfocados en el ambiente, la mayoría de ellos desarrollados desde 1970 (Pring, 2003). A pesar de ello, no existen leyes internacionales concretas para la minería y sólo se dispone de aquellas que regulan la industria en general. Los tratados relacionados con la minería usan un lenguaje muy general y carecen de regímenes adecuados para hacerlos cumplir.

Las leyes internacionales que pueden tener repercusiones en la minería incluyen a aquellas de protección de la naturaleza (Tabla 3.4). Entre ellas, la Convención para la protección de la herencia cultural y natural del mundo de 1972 establece la obligación de las Naciones a proteger perpetuamente los sitios listados, por lo que restringe la autorización de permisos para la minería si existen impactos potenciales sobre valores culturales o naturales. Otro caso lo constituye la Convención sobre humedales de importancia internacional de 1971, la cual concede a los Estados la protección y preservación de los humedales listados.

Tabla 3.4. Principales convenciones internacionales que influyen en el desarrollo de la minería.

Instrumento	Contenido
Convención para la protección de la herencia cultural y natural del mundo (1972)	Determina la obligación de las Naciones a proteger perpetuamente los sitios listados.
Convención sobre humedales de importancia internacional (1971)	Los países deben proteger y preservar los humedales listados.
Convención sobre diversidad biológica (1992)	Cada nación es responsable de conservar su diversidad biológica y de usar sus recursos biológicos de forma sustentable
Directrices de Berlín (1991)	La minería requiere una buena organización ambiental en todas las actividades, desde la explotación y procesamiento hasta la reclamación, considerando a las comunidades afectadas.

En 1992, durante la cumbre de Río se llevó a cabo la Convención sobre Diversidad Biológica. La parte medular en esta convención fue que cada nación es responsable de conservar su diversidad biológica y de usar sus recursos biológicos de forma sustentable. Lo anterior implica la elaboración e implementación de planes de biodiversidad que en consecuencia pueden dar origen a la creación de

áreas protegidas para la conservación de la biodiversidad *in situ*. Con ello se restringirían o limitarían actividades tales como la minería en dichos lugares.

Al mismo tiempo existe un buen número de tratados regionales enfocados a la protección del ambiente tales como la Convención sobre la protección de la naturaleza y preservación de la vida silvestre en el hemisferio occidental de 1940, la Convención Africana sobre la conservación de la naturaleza y recursos naturales de 1968.

En 1991, las Naciones Unidas convocaron a una mesa redonda de expertos internacionales sobre minería en Berlín. En las directrices de Berlín se apunta que las actividades de minería sustentable requieren una buena organización ambiental en todas las actividades, desde la explotación y procesamiento hasta la reclamación. En consecuencia, recomiendan que los Gobiernos y compañías deberán dar alta prioridad al manejo ambiental. Al mismo tiempo las directrices de Berlín claman por la participación de las comunidades afectadas y mejores prácticas, aún en la ausencia de regulaciones ambientales específicas.

Así mismo, los nuevos estándares judiciales están siendo creados para la industria minera en tres formas: por 1) las cortes en países en desarrollo donde la minería se lleva a cabo, 2) las cortes en países desarrollados donde las compañías están incorporadas o tienen su sede, y 3) las cortes de países desarrollados aplicando sus propias leyes extraterritorialmente (Pring, 2003)

Los requerimientos ambientales de las Instituciones financieras internacionales son uno de los mayores estímulos para el desarrollo de estándares ambientales internacionales para la minería (Walde, 1992). Dicha actitud ha sido provocada por las diversas críticas de las que han sido blanco éstas Instituciones por respaldar proyectos no sustentables que destruyen al ambiente (Reed, 1993; Cohen, 1996).

Ahora, el Banco internacional para la reconstrucción y desarrollo (IBRD) ha respondido a la crítica creando el Departamento de Ambiente; el Banco Mundial también ha desarrollado estándares internacionales para la minería aunque éstos continúan como guías y son raramente incluidas como condiciones explícitas de préstamo.

Las leyes internacionales están siendo una parte significativa del cambio en los marcos regulatorios; establecen tratados, códigos y prácticas de organizaciones gubernamentales e industriales. Por ejemplo, la APEC compuesta de 21 países del pacífico (incluyendo Chile, Estados Unidos, China, Australia etc.) busca promover la cooperación y soporte técnico entre sus miembros en las esferas económica y desarrollo sustentable.

Dentro de la APEC, las economías basadas en sus recursos están activas en el Grupo de Trabajo de Energía y en lo que concierne a la minería existe un Grupo de Expertos en Minerales y Explotación de Energía y Desarrollo, los cuales sostienen encuentros, conferencias y hacen declaraciones sobre leyes nacionales e internacionales que afectan la minería. En el Taller de Cooperación ambiental de 1997 celebrado en Tokio se concluyó que "Las iniciativas de regulación ambiental internacional tienen un potencial creciente para impactar sobre las actividades mineras en APEC... (y) el monitoreo y cooperación sobre iniciativas de regulación ambiental internacional incluyendo los metales y minerales... son fomentadas"

Además de organizaciones gubernamentales internacionales, la industria y organizaciones no gubernamentales (ONG's) están produciendo y expandiendo directrices internacionales: estándares, mejores prácticas, códigos de conducta, procedimientos técnicos y de manejo así como reglas dentro de las empresas, tanto de aplicación general y específicos para la industria minera.

Un ejemplo de ONG es mining watch. Ésta organización trabaja sobre la necesidad de una respuesta coordinada de interés público contra el peligro a la salud, calidad del agua y el aire, el hábitat acuático y la vida silvestre, así como los intereses de la comunidad que aplican las prácticas y políticas mineras en Canadá y en el resto del mundo, pero con una orientación particular en las corporaciones mineras de este país.

Otro organismo importante es el Consejo Internacional sobre Metales y el Ambiente (ICME por sus siglas en inglés), el cual, es una ONG que agrupa las compañías más grandes del mundo, y ha creado *La carta ambiental del ICME* cuyo contenido es similar a las directrices de Berlín.

La Organización Internacional sobre Estandarización (ISO) fue creada para promover la estandarización en bienes y servicios en todo el mundo, y ha tenido un papel importante en el desarrollo de estándares sobre leyes ambientales internacionales para la industria minera.

La serie ISO 14000 cubre prácticas de manejo ambiental. Actualmente están en desarrollo estándares ambientales internacionales para sistemas de manejo ambiental, auditoria y etiquetado ambiental, análisis del ciclo de vida, términos y definiciones. Los responsables de llevar esto a cabo son los comités técnicos y trabajan sobre estándares no sólo para la minería sino para calidad del aire, calidad del agua así como manejo ambiental.

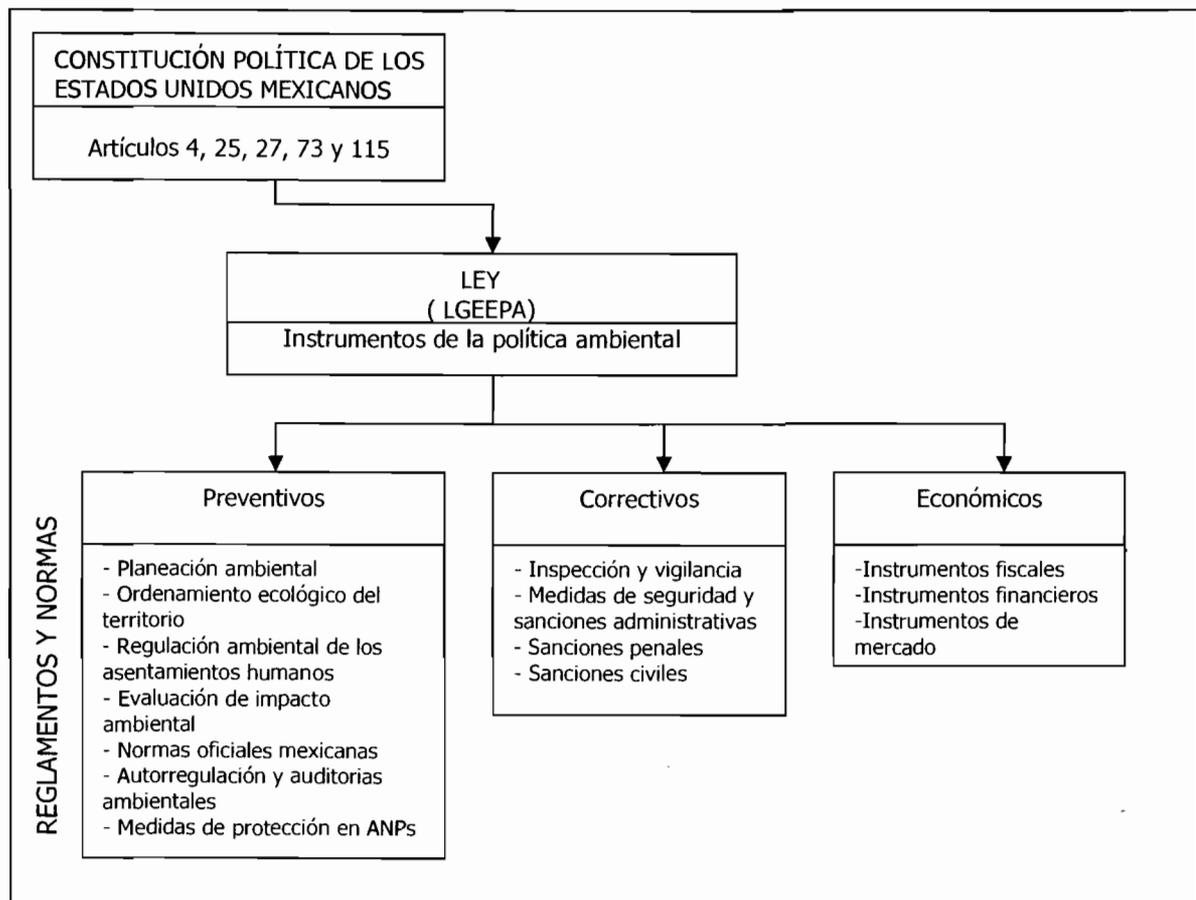
Aunque los estándares ISO no son regulatorios en el sentido oficial o gubernamental, sino sistemas de administración ambiental, cabe esperar que muchos países, organismos internacionales, instituciones de financiamiento lo adoptarán como una ley estricta o como orientación en programas de minería,

regulación ambiental, políticas de contrato, aprobación de financiamiento. En otros casos, la serie 14000 puede ser una condición para hacer negocios competitivamente o para promover la imagen ambiental de las empresas mineras aunque por si misma no asegura la protección del ambiente.

PARTE II: EL ÁMBITO NACIONAL

La legislación ambiental mexicana tiene sustento en los artículos 4, 25, 27, 73 y 115 de la Constitución. A partir de éstos, se crean las leyes, reglamentos y normas que regulan los distintos aspectos de la protección al ambiente.

Fig.3.2. Estructura de la legislación ambiental en México.



En la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) se establece la política ambiental mexicana, y se manifiesta a través de distintos instrumentos. Los preventivos procuran anticipar la ocurrencia de situaciones perjudiciales al ambiente fundamentados en que, generalmente, es menos costoso prevenir los daños al ambiente que remediarlos. Los instrumentos correctivos procuran el aseguramiento de las disposiciones de la LGEEPA y las que se deriven. Los de carácter económico pretenden que los precios conlleven de manera plena la

información ambiental sobre las consecuencias, beneficios y costos adicionales de producción y consumo.

Los instrumentos de la política ambiental, a su vez, se pueden ejercer a través de los reglamentos y las normas, los cuales son de índole más específicos; otros en cambio, son generales pero igualmente de interés para el caso de la restauración de minas superficiales. Enseguida se revisa la incidencia de los instrumentos de la política ambiental sobre las etapas del desarrollo de los proyectos de minería superficial, en especial sobre la restauración.

1 Planeación ambiental y ordenamiento ecológico del territorio

La etapa de exploración es decisiva en determinar los posibles impactos ambientales y sociales porque se ubica la zona que económicamente es viable de explotar. Los usos que se desarrollen (agropecuarios, forestales de conservación u otros) invariablemente interactúan con la minería superficial, y la compatibilidad entre los usos de suelo puede no ser la adecuada. Para evitar problemas de éste tipo existe la planeación ambiental y el ordenamiento del territorio.

Dentro de los artículos 17 y 18 de la LGEEPA se considera la planeación ambiental. En ellos se contempla la incorporación jurídica de la política ambiental a la planeación nacional del desarrollo. Su importancia radica en que hace obligatorios los lineamientos de política ambiental contenidos en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) y en sus programas cuando se ejercen las atribuciones que las leyes confieren al Gobierno Federal para orientar las actividades de los particulares en el campo económico y social.

Como parte del PND se inserta el Programa Nacional de Desarrollo Minero (PNDM). El último programa (2001-2006) reconoce que para lograr la modernización de la normatividad minera es necesario introducir disposiciones específicas en la Ley Minera que consideren los nuevos preceptos en materia indígena y ambiental, entre otros tópicos. Algunos ejemplos considerados en el programa son la creación y aplicación de normas ambientales NOM y NMX, que permitan establecer definiciones, límites y criterios para regular y vigilar las actividades mineras en temas como residuos, emisiones a la atmósfera y descargas de aguas residuales que afecten al ambiente. No obstante, aún no se considera la creación de normas que regulen la etapa de cierre desde el punto de vista ambiental, es decir, de la planeación que incluya medidas de prevención y restauración de la degradación producida por las minas superficiales.

Un punto de mayor interés para el sector minero tiene que ver con las Áreas Naturales Protegidas (ANP), es decir, las áreas donde el uso de suelo es de conservación. De acuerdo con el PNDM, el establecimiento de ANP y los programas de manejo correspondientes será una de las áreas de trabajo más importantes pues existen conflictos en ciertos casos para llevar a cabo actividades mineras

dentro de éstas áreas, y en ocasiones, los mineros han cuestionado la justificación de la creación de ciertas ANP con posibilidades metalíferas (Palacios, 2003)⁴.

Entre los motivos por los que la minería no puede desarrollarse en las zonas núcleo de las ANP es el uso de explosivos y las perforaciones⁵. Según se plantea en el PNDM, la minería podría desarrollarse en las zonas de amortiguamiento sin alterar el ambiente, siempre que las autoridades ambientales cuenten con las reglas que les permitan mantener una vigilancia estricta y permanente en estas áreas. Por ello en el PNDM se manifiesta que *"se buscará que el establecimiento de estas áreas considere el potencial minero de las zonas evaluadas y la capacidad de establecer comunidades mineras sustentables"*.

Al igual que el PNDM, el ordenamiento ecológico del territorio (OET) consiste en un proceso de planeación que trata de hacer congruente la ejecución de proyectos productivos –en este caso mineros- con programas de protección, conservación, restauración y aprovechamiento de los recursos naturales. Bajo esta consideración, la legislación ambiental puede regular las actividades mineras y prevenir impactos negativos en el ambiente. Sin embargo, aunque los alcances de este instrumento preventivo son importantes para definir la regulación con base en criterios ecológicos el desarrollo de minería⁶, no está suficientemente desarrollado a la escala adecuada.

4 Un caso que ilustra la intervención de la minería en la definición de las ANP se presentó en Sonora. A través de la gestión de la Comisión de Ecología y Recursos Naturales de la Cámara Minera fue detenido el decreto sobre la recategorización y redelimitación de la Reserva forestal y refugio de fauna silvestre Ajos-Bavispe al Área de protección de flora y fauna Mavavi en Sonora, logrando con ello seguir adelante con el desarrollo de la minería en dicha región. Una situación similar pretende llevarse a cabo en el Valle de Tres Cerros, Baja California, en la cual se evitó la aprobación del plan de manejo original, pues éste no aprobaba el desarrollo de la actividad minera en la zona (Cámara Minera, 2003).

⁵ La LGEEPA establece en el artículo 49 que en las zonas núcleo de las ANP está prohibido : verter o descargar contaminantes en el suelo, subsuelo o cualquier clase de cauce, vaso o acuífero, así como desarrollar cualquier actividad contaminante: interrumpir, rellenar, desecar o desviar flujos hidráulico. Todas estas prohibiciones pueden aplicarse al caso de la minería. Las zonas de amortiguamiento tienen el objetivo de proteger la zona núcleo y por ello sólo pueden realizarse actividades productivas llevadas a cabo por las comunidades que ahí residan al momento de la expedición de la declaratoria de ANP.

⁶ De acuerdo con Estrada (1993), el ordenamiento ecológico tiene varios objetivos principales para los desarrollos minero-metalúrgicos, por ejemplo: Determinar en áreas de vocación minera las unidades ambientales correspondientes a la regionalización ecológica del país; Describir los componentes socio-económicos e identificar la capacidad para el desarrollo diversificado de las actividades productivas, y la problemática de degradación del medio ambiente y de los recursos naturales; Evaluar las tendencias de deterioro ambiental y la degradación de los recursos naturales de las regiones ecológicas en estudio, para establecer las políticas y elaborar los programas de restauración ecológica correspondientes.

ETAPAS DEL PROYECTO	EXPLORACION	EXPLOTACION					ABANDONO
		Aire	Agua	Suelo	Vegetación y fauna	Otros	
INSTRUMENTOS	Planeación ambiental y ordenamiento ecológico del territorio. Medidas de protección en ANP.						
LEYES	LGEEPA	LGEEPA	LGEEPA (Art. 108 y 109) Ley de aguas nacionales	LGEEPA (Art. 108 y 109) Ley general de desarrollo Forestal Sustentable	LGEEPA (Art. 108 y 109) Ley general de desarrollo Forestal Sustentable	LGEEPA (Art. 108 y 109)	
REGLAMENTOS	Reglamento en materia de evaluación de impacto ambiental	Reglamento en materia de evaluación de impacto ambiental	Reglamento en materia de evaluación de impacto ambiental Reglamento de la Ley de aguas nacionales.	Reglamento en materia de evaluación de impacto ambiental Reglamento de la Ley Forestal de Desarrollo forestal sustentable.	Reglamento en materia de evaluación de impacto ambiental Reglamento de la Ley Forestal de Desarrollo forestal sustentable.		Reglamento en materia de evaluación de impacto ambiental
NORMAS	NOM-120-ECOL-1997		NOM 001-SEMARNAT-1996 NOM-003-CNA 1996 NOM-004-CNA		NOM 059-SEMARNAT-2001		

Tabla 3.5. La regulación ambiental mexicana dentro de las etapas del desarrollo de minas superficiales.

En el 2002 existían 58 ordenamientos regionales terminados o en proceso de elaboración, de los cuales sólo 12 contaban con decreto. Dieciséis son estatales lo que representa el 50% de los Estados. En el mismo año se contaba con 26 ordenamientos locales, pero sólo nueve tenían decreto (SEMARNAT, 2002)⁷. Lo que puede apreciarse es que un porcentaje importante del área total del país aún no está regulada bajo este instrumento y los estados con importante tradición minera prácticamente no lo tienen.

2 Evaluación de Impacto Ambiental

Cuando no existan Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que regulen los efectos de cada una de las fases de los proyectos, puede usarse el procedimiento de evaluación de impacto ambiental (PEIA). La definición que da la LGEEPA es la siguiente: *"...es el procedimiento a través del cual la Secretaría establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el ambiente"*.

El artículo 28, párrafo III de la LGEEPA somete al PEIA las obras o actividades de exploración, explotación y beneficio de minerales y sustancias reservadas a la Federación en los términos de las Leyes Minera y Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia nuclear. A su vez, el artículo 5 del Reglamento en materia de evaluación de impacto ambiental (REIA) detalla las obras o actividades de competencia federal sujetas al PEIA, así como las excepciones a dicho trámite⁸. Aunque no se hace mención específica sobre la regulación ambiental de la minería superficial, las obras de explotación de los minerales y sustancias de competencia federal están sujetas al PEIA, es decir, se incluye cualquier forma de minado.

Según el capítulo VII del REIA, la SEMARNAT puede autorizar total o parcialmente la obra o actividad de forma condicionada, pudiendo sujetar la realización de la obra o actividad a la modificación del proyecto o al establecimiento de medidas adicionales de prevención y mitigación a fin de evitar, atenuar o compensar impactos ambientales adversos susceptibles de ser

⁷ Los OET estatales corresponden a: Aguascalientes, Baja California, Coahuila, Colima, Guanajuato, Jalisco, México, Michoacán, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, Zacatecas.

Mientras que los ordenamientos locales mencionados se concentran en las penínsulas de Baja California y Yucatán, los estados con tradición minera prácticamente no lo tienen. En los casos en que existen se localizan en Cuatrociénegas Coahuila; Estero el Sabalo, Sinaloa y Bahía de San Francisco, Sonora.

⁸ En el inciso L) se determina que se llevará a cabo el PEIA en: I: obras para la explotación de minerales y sustancias reservadas a la federación⁸, así como su infraestructura de apoyo, II: obras de exploración, excluyendo las de prospección gravimétrica, geológica superficial, geoelectrónica, magnetotélúrica, de susceptibilidad magnética y densidad; así como las obras de barrenación, de zanjeo y exposición de rocas, siempre que se realicen en zonas agrícolas, ganaderas o eriales y en zonas con climas secos o templados en donde se desarrolle vegetación de matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio, bosques de coníferas o encinares ubicadas fuera de las ANP; III: beneficio de minerales y disposición final de sus residuos en presas de jales, excluyendo las plantas de beneficio que no utilicen sustancias consideradas como peligrosas y el relleno hidráulico de obras mineras subterráneas.

producidos en la construcción, operación normal y en caso de accidente, así como en la etapa de abandono o término de la vida útil del proyecto^{9,10}.

Adicionalmente al REIA, se creó la Guía para la presentación de la manifestación de impacto ambiental del sector minero, y según esta, las medidas de mitigación se definen como el *"Conjunto de acciones que deberá ejecutar el promovente para atenuar el impacto ambiental y restablecer o compensar las condiciones ambientales existentes antes de la perturbación que se causare con la realización de un proyecto en cualquiera de sus etapas"*. Sin embargo, estas medidas parecen acciones que resuelven partes del problema de degradación ambiental de manera aislada e ignoran el contexto socioeconómico. En cambio, la restauración es un proceso de recuperación que considera de forma integral las condiciones de degradación ambiental y las socioeconómicas para establecer un estado aceptable desde el punto de vista social, económico y ambiental, lo que en conjunto determina su viabilidad y sustentabilidad.

A pesar de que no existe una mención explícita de restaurar, sino de mitigar, la autorización condicionada de la ejecución del proyecto es, según puede entenderse del REIA, la única forma de solicitar la restauración de minas superficiales. Sin embargo, esto es discrecional y por lo tanto no en todos los casos puede solicitarse. En el artículo 12, frac. II del REIA se enlista la descripción del proyecto sin el desglose de cada uno de los componentes ni de las etapas del proyecto sometido al PEIA, esta situación puede originar que el responsable del estudio omita la fase post-operativa (abandono) porque no la considere parte del proyecto. Aunque, la guía del REIA sí enlista la etapa de abandono del sitio ("post-operación") solicitando que en esta sección se describa *"el programa tentativo de abandono del sitio, enfatizando en las medidas de rehabilitación, compensación y restitución"*, no tiene carácter obligatorio como la misma guía aclara: *"la aplicación de esta guía no es obligatoria, la LGEEPA es muy clara en definir el contenido que debe tener la Manifestación de Impacto Ambiental (Artículo 30)..."* La guía sólo proporciona una orientación, no obliga a realizar sus contenidos.

Teniendo en cuenta lo expuesto arriba, no existe ningún instrumento legal considerado dentro de la PEIA que demande la restauración de las minas superficiales ni que regule el abandono, de hecho el concepto no está aclarado en el glosario de la guía ni en las definiciones del REIA.

El abandono de una mina significa en países como Canadá, aquella para la cual el dueño no puede ser encontrado, es financieramente incapaz, o tiene poca disponibilidad para realizar la limpieza de la misma (Roberts *et al.*, 2000; UNEP,

⁹ Artículo 45 fracción II y Artículo 48 del Reglamento de la LGEEPA en materia de impacto ambiental.

¹⁰ No obstante, Vera (2000) considera que el REIA pretende extender el alcance de las resoluciones sujetas a condición que, en términos de la LGEEPA, sólo se considera la construcción, operación normal y el caso de accidente, pero no la etapa de abandono. Por lo anterior, el mismo autor piensa que dicho precepto pudiera ser violatorio del principio de legalidad al pretender incrementar las facultades expresamente establecidas en la LGEEPA para la SEMARNAT.

2001). En realidad, no existe una sola definición de una "mina abandonada" debido a las implicaciones de esta idea, lo cual tiene que ver con la extensión y delimitación del área considerada abandonada, así como la demostración del propietario y el diagnóstico ambiental de la zona que alberga la mina¹¹.

Sin embargo, se puede decir en general que una mina abandonada implica concluir el proyecto minero y no llevar acciones que prevengan los daños ambientales, sociales y económicos, independientemente de las causas del abandono. Todo ello involucra la idea de irresponsabilidad sobre las consecuencias que deriven de un proyecto después que ha concluido.

El término "abandono" como se maneja en la Guía, no está siendo usado del modo que se entendería de forma general en otras partes del mundo. Sería más conveniente hablar del cierre de minas, como el conjunto de medidas que previenen anticipadamente los daños en el ambiente debidos al proyecto y que se implementan o desarrollan fundamentalmente cuando concluye la vida de una mina a fin de evitar problemas ambientales, sociales y de salud que pudieran presentarse a partir de entonces.

Aún cuando no se requiera explícitamente un plan de restauración de minas superficiales, el REIA establece la figura de seguros y garantías a los promoventes para que exista un aval que responda por ellos en caso de que no cumplan con las condiciones que disponga la autoridad para el desarrollo de su obra o actividad, y para que estén en condiciones de resarcir los daños al ambiente cuando se presente un siniestro por el desarrollo del proyecto¹².

Según el artículo 51 de la LGEEPA, la SEMARNAT podrá exigir el otorgamiento de seguros o garantías para el cumplimiento de las condiciones establecidas en las autorizaciones cuando se puedan producir daños graves a los ecosistemas¹³. También queda establecido, la creación de un Fideicomiso para el destino de los recursos que se obtengan por el cobro de seguros o la ejecución de garantías; dichos recursos serán aplicados para la reparación de los daños provocados por la realización de las obras o actividades de que se trate.

Aún cuando el REIA limita la aplicación de los seguros y garantías, pueden aplicarse a la minería superficial sólo cuando se liberen sustancias que al contacto

¹¹ La diversidad de casos ha complicado la elaboración de una definición de lo que podría considerarse una mina abandonada. En los países con una larga tradición minera la magnitud de los impactos generados desde el pasado es a menudo considerable.

¹² Hasta el año 2000, cuando se modificó el REIA, se incorporaron las figuras de seguros y garantías.

¹³ Considerando que esto puede ocurrir cuando: Puedan liberarse sustancias que al contacto con el ambiente se transformen en tóxicas, persistentes y bioacumulables; las obras o actividades se lleven a cabo en Áreas Naturales Protegidas y se desarrollen actividades altamente riesgosas. Estas son aquellas en las que se generan o manejan materiales con características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas y biológico infecciosas en los establecimientos industriales, comerciales o de servicios, considerando los volúmenes de manejo y la ubicación del establecimiento. Por lo tanto, la apertura y cierre de toda mina superficial no está considerada como actividad altamente riesgosa.

con el ambiente se transformen en tóxicas, persistentes y bioacumulables. Por tanto, las minas que liberen drenaje ácido y metales pesados se incluyen, no ocurre así con los, tajos y *open cast mining* que no los produzcan, aunque también impactan al ambiente.

En caso de incumplimiento de las condiciones previstas en la autorización y exista riesgo inminente de desequilibrio ecológico, de daño o deterioro grave a los recursos naturales, contaminación con repercusiones peligrosas para los ecosistemas, sus componentes o para la salud pública, la SEMARNAT podrá ordenar las medidas de seguridad pertinentes¹⁴.

3 Normas Oficiales Mexicanas (NOM)

Las normas técnicas ecológicas tienen el papel de especificar y determinar con precisión lo que está permitido y lo que no. En México, se han aplicado este instrumento desde la aparición de la LGEEPA. De acuerdo con Brañes (2000), el limitado desarrollo de la legislación ambiental es una de las causas de su ineficiencia, es decir, por el vacío de normas que tengan el grado de especificidad que hace posible, jurídicamente hablando, la aplicación del sistema para la protección del medio ambiente.

Tradicionalmente se ha puesto poca atención a la regulación de la minería con fines de protección al ambiente, de hecho, la LGEEPA emitida en 1988 contenía grandes carencias en esta materia; sin embargo, durante los cambios hechos en 1996 a esta ley, se modificaron los artículos 108 y 109 que son los únicos que integran el capítulo sobre la "exploración y explotación de los recursos no renovables en el equilibrio ecológico".

En el artículo 108 se establece que para prevenir y controlar los efectos generados en la exploración y explotación de los recursos no renovables en el equilibrio ecológico e integridad de los ecosistemas, la Secretaría expedirá las normas oficiales mexicanas que permitan:

- 1) Controlar la calidad de las aguas y la protección de las que sean utilizadas o sean el resultado de esas actividades, de forma tal que se puedan utilizar en otras actividades.
- 2) La protección de los suelos y de la flora y fauna silvestres, de manera que las alteraciones topográficas que generen dichas actividades sean, oportuna y debidamente tratadas.

¹⁴ Las medidas de seguridad incluyen: 1) la clausura temporal, parcial o total de las fuentes contaminantes, instalaciones, productos o subproductos de flora, fauna o recursos forestales. 2) El aseguramiento precautorio de materiales y residuos peligrosos así como de especímenes productos o subproductos de flora, fauna o recursos forestales, material genético además de los instrumentos o utensilios relacionados directamente con éstos. 3) La neutralización o cualquier acción análoga que impida que los materiales o residuos peligrosos generen los efectos previstos en el artículo 170 de la LGEEPA.

- 3) La adecuada ubicación y formas de los depósitos de desmontes, relaves y escorias de las minas y establecimiento de beneficio de los minerales.

Así mismo, en el artículo 109 queda establecido que las NOM a que hace referencia el artículo anterior serán observadas por los titulares de concesiones, autorizaciones y permisos para el uso, aprovechamiento, exploración, explotación y beneficio de los recursos naturales no renovables. Estas disposiciones son aplicables a las actividades mineras que se refieren a los minerales reservados a la Federación y que se encuentra regulado por el artículo 5 de la LGEEPA.

Actualmente sólo existe una norma oficial mexicana específica en materia de minería y ambiente: La norma NOM-120-ECOL-1997 que establece las especificaciones de protección ambiental para las actividades de exploración minera directa, en zonas agrícolas, ganaderas o eriales y en zonas con climas secos y templados en donde se desarrolle vegetación de matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio, bosque de coníferas o encinos. Esta norma es congruente, según se aprecia en el mapa de minas y tipos de vegetación (capítulo I), con los tipos de vegetación donde principalmente se realiza la actividad minera en México.

Sin embargo, no existen normas para las etapas de explotación y de cierre que regulen la protección de los suelos, flora y fauna silvestres ni sobre la modificación topográfica que produce la minería. De lo que menciona el artículo 108 de la LGEEPA, existen la norma NOM-141-SEMARNAT 2003¹⁵ relacionada con las presas de jales, pero esta regula los residuos que se producen como resultado del proceso de beneficio, no por descapotar (estéril).

Otras normas relativas a los residuos son la NOM-052-SEMARNAT, NOM-053-SEMARNAR, NOM-054-SEMARNAT, que establecen las características que hacen a un residuo peligroso, las pruebas de extracción para determinarlos, y la incompatibilidad de los residuos peligrosos. Estas normas no son específicas para los residuos que se producen durante la explotación de las minas, es decir, de las rocas que conforman el estéril. Además, la técnica que se propone no es adecuada para determinar la formación de drenaje ácido a partir del estéril, por lo que debería considerarse una metodología para este caso concreto.

La norma aplicable a la protección del agua es la NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminación en las descargas de aguas residuales en agua y bienes nacionales. Aunque esta norma no especifica la problemática del drenaje ácido, establece límites de concentración de metales pesados y cianuros, además de establecer un rango de pH entre 5 y 10 unidades del agua de descarga.

¹⁵ La NOM-141-SEMARNAT 2003 establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación de sitios, proyectos, construcción, operación y postoperación de presas de jales.

Las normas NOM-003-CNA-1996 y NOM-004-CNA, establecen los requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos, y los requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general, respectivamente. Dichas disposiciones regulan a los pozos que son abiertos para conseguir el desagüe de los tajos.

La regulación ambiental de las vibraciones, la contaminación visual, de olores y por ruido, está contemplada en el artículo 155 de la LGEEPA, no obstante, las normas que regulen y establezcan los límites permisibles de estos contaminantes no se han elaborado. La NOM-080-SEMARNAT que establece los niveles máximos de emisión de ruido del escape de fuentes móviles, no considera a la maquinaria, ni explosivos. Por otro lado, las normas de protección a la atmósfera, NOM-045-SEMARNAT y NOM-041-SEMARNAT exceptúan de su aplicación a la maquinaria empleada en la minería.

En lo referente a la protección de la vegetación y la fauna, no existe alguna norma específica para el caso de la minería que se derive del artículo 108 de la LGEEPA, sin embargo, la NOM-059-SEMARNAT-2001 lista las especies o poblaciones en riesgo de la flora y fauna silvestre en México, mismas que deben considerarse en la Manifestación de Impacto Ambiental.

4 Autorregulación y Auditorías ambientales

La autorregulación se refiere a que los destinatarios de las regulaciones ambientales establezcan normas de carácter ambiental más estrictas que las vigentes o bien, que se ocupen de llenar vacíos de dicha normatividad a fin de mejorar su desempeño ambiental.

El artículo 38 de la LGEEPA dispone que la SEMARNAT inducirá o concertará en el ámbito federal las actividades que se enlista a continuación:

- 1) El desarrollo de procesos productivos adecuados y compatibles con el ambiente, así como sistemas de protección y restauración convenidos con cámaras de industria, comercio y otras actividades productivas además con organizaciones de productores, instituciones de investigación científica y tecnológica y otros que estén interesados.
- 2) El cumplimiento de normas voluntarias o especificaciones técnicas en aspectos ambientales que sean más estrictas que las NOM, o que contengan aspectos no previsto en éstas
- 3) El establecimiento de sistemas de certificación de procesos o productos para inducir patrones de consumo compatibles, que preserven, mejoren o restauren el ambiente.

- 4) Otras acciones que induzcan a las empresas a conseguir los objetivos de la política ambiental superiores a las previstas en la normatividad ambiental vigente.

Algunos de los resultados de este instrumento preventivo son la participación de la Cámara Minera en la elaboración de NOM sobre la construcción de presas de jales (Moreno, 1992). Los grandes consorcios mineros han aplicado el uso de nuevas tecnologías para el ahorro y la conservación de energía y para el control eficiente de operaciones, así mismo se ha generalizado el uso de Sistemas integrales de administración ambiental y desarrollo comunitario, también la adopción de sistemas de certificación ISO 14'000 (Minería CAMIMEX; 2000a, 2002).

En lo que se refiere a la restauración de minas, el grupo Peñoles ha invertido en la restauración del tajío de la Unidad Minera Sultepec, así como en las minas subterráneas cerradas. La serie ISO 14000 cubre prácticas de manejo ambiental y han sido certificadas algunas empresas mineras, entre ellas MICARE y empresas de Grupo Peñoles (Minería CAMIMEX, 1998; 2002). Por su parte, las empresas cementeras que explotan canteras de rocas calizas como Holcim-Apasco, cuentan con programas para restaurar la flora y fauna de las canteras cuya vida útil ha terminado, además de contra con esquemas de forestación de zonas aledañas a las plantas cementeras.

Paralelo a la presencia de la autorregulación, las auditorías ambientales constituyen un instrumento de carácter voluntario por el cual los responsables del funcionamiento de las empresas realizan un examen metodológico de sus operaciones acerca de la contaminación y el riesgo que generan, así como el grado de cumplimiento de la normatividad ambiental y de los parámetros internacionales, buenas prácticas de ingeniería y operación aplicables, con la finalidad de definir las medidas preventivas y correctivas pertinentes para proteger al ambiente.

El fin de las auditorías es inducir un desempeño de excelencia por parte de la industria cumpliendo no sólo la normatividad presente en el país sino adoptando además normas internacionales y buenas prácticas de ingeniería. La industria minera ha respondido a éste instrumento. Algunos ejemplo son LUISMIN que recibió el certificado de Industria limpia en el año 2000; Minera Tayahua que en el mismo año buscaba la certificación y empresas del grupo Peñoles desde 1997 (Minería CAMIMEX, 2000).

5 Instrumentos económicos

En la corta historia del derecho ambiental en México, la aplicación de la normatividad se había basado casi en su totalidad en el sistema regulatorio de permisos, inspecciones y sanciones. Sin embargo, con las modificaciones hechas en la LGEEPA en 1996 se incorporó una sección dedicada a los instrumentos económicos.

El propósito de los instrumentos económicos es que a través de mecanismos normativos y administrativos de carácter fiscal, financiero o de mercado, las personas asuman los beneficios y costos ambientales que generan sus actividades económicas y se les incentive para realizar acciones que beneficien al ambiente.

Los instrumentos económicos son un mecanismo para hacer efectivos dos principios de la política ambiental: aquel que contamine, haga uso excesivo de los recursos naturales o altere los ecosistemas, debe asumir los costos que se deriven de su conducta; el segundo principio establece que aquel que conserve los recursos e invierta en la conservación ecológica, reconstruyendo el capital ambiental de la nación debe recibir un estímulo o una compensación.

Existen tres tipos de instrumentos económicos, a saber:

- 1) De carácter fiscal: los estímulos fiscales que incentiven el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental.
- 2) Financieros: los créditos, las fianzas, los seguros de responsabilidad civil, los fondos y los fideicomisos cuando sus objetivos estén dirigidos a la preservación, protección y restauración o aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y el ambiente, así como el financiamiento de programas, proyectos, estudios e investigación financiera de programas, proyectos, estudios e investigación científica y tecnológica para la preservación y protección del ambiente.
- 3) De Mercado: las concesiones, autorizaciones, licencias y permisos que corresponden a volúmenes preestablecidos de emisiones de contaminantes en el aire, agua o suelo, o bien, que establecen los límites de aprovechamiento de recursos naturales, o de construcción en ANP o en zonas cuya preservación y protección se considere relevante desde el punto de vista ambiental.

Algunas de las ventajas del uso de instrumentos económicos o sistemas basados en incentivos son de acuerdo con Costanza *et al.*, (1999) las siguientes: proporcionan incentivos económicos para prevenir la contaminación (con lo cual le ahorran a la sociedad el costo aún mayor de intentar limpiar la contaminación), pasan el costo de la contaminación al consumidor de productos de contaminación intensiva, proporcionando a la sociedad las señales apropiadas para modificar el comportamiento del consumidor e imponer los costos del daño ambiental a quienes lo causan y a quienes se benefician del mismo, incentivan para trasladar la carga del monitoreo del gobierno al contaminador, elevan los ingresos públicos.

Otra de las grandes ventajas que tienen los instrumentos económicos sobre los sistemas de regulatorio (o de orden-control) es que genera incentivos para disminuir la contaminación por debajo de los niveles que obligan las normas y para utilizar los avances tecnológicos ambientalmente amigables. Además, con el

tradicional sistema reglamentario que se ha aplicado, se permite a los contaminadores ignorar los costos que sus acciones imponen a la sociedad en el momento en que toman las decisiones, *no antes* como puede hacerse a través de instrumentos económicos.

Los instrumentos fiscales que se han empleado en México son principalmente la depreciación acelerada y el arancel cero, con lo cual se estimula la adquisición de equipo no disponible en el país que sea más compatible con el ambiente (SEMARNAP, 2000a). Una de las formas que ha resultado exitoso para asegurar el cierre de las minas en otros países, es a través del uso de bonos de restauración (Sinding, 1999), los cuales no existen en México.

Los de carácter financiero pueden enfocarse en la creación de sistemas de seguros y fianzas para cuestiones relacionadas con impacto ambiental y sitios abandonados como las minas. El uso de los instrumentos económicos de carácter financiero en la minería superficial, aseguraría el cumplimiento de los compromisos ambientales adquiridos como condiciones del PEIA. En general se trata de un mercado que tienen un tamaño potencialmente importante que también incluye a las empresas mineras; no obstante, el sector financiero no muestra mucho interés en desarrollarlo (SEMARNAP, 2000a).

6 Otras leyes de carácter ambiental relacionadas

Adicionalmente a los instrumentos de la política ambiental contemplados en la LGEEPA, existen otras en el ámbito federal que tienen alcances en materia ambiental para el desarrollo de minas superficiales (Tabla 3.6).

Tabla 3.6. Leyes relacionadas con la regulación ambiental de la minería.

LEY	INCIDENCIA EN LA MINERÍA
Ley de Aguas Nacionales	Regula las concesiones de agua y permisos de descarga.
Ley de Gestión Integral de Residuos	Regulación sobre la disposición de jales y otros desechos de la industria minerometalúrgica.
Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable	Regulación sobre cambio de usos de suelo en terrenos forestales.

La Ley de Aguas Nacionales tiene implicaciones ambientales en el desarrollo de proyectos mineros. En el título cuarto sobre los derechos de explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales se encuentran varias normas que deben acatar los proyectos mineros. Como parte de la solicitud de concesión del agua deben incluirse las obras para su descarga, incluyendo el tratamiento de las aguas residuales y los procesos y medidas para el reúso del agua, en su caso, y restauración del recurso hídrico. El otorgamiento de las concesiones y asignaciones se dará una vez que se consideren las partes involucradas y los costos económicos y ambientales de las obras del proyecto.

Al mismo tiempo, se solicita el permiso de descarga de aguas residuales y el permiso para la realización de las obras que se requieran para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas y el tratamiento y descarga de las aguas residuales respectivas. También es necesario presentar una MIA de acuerdo con la LGEEPA, y la disposición y tratamiento de las aguas residuales resultantes y las demás medidas para prevenir la contaminación de los cuerpos receptores.

En el artículo 29 se determinan las obligaciones a las que deben sujetarse los concesionarios, entre las cuales encontramos realizar las medidas necesarias para prevenir la contaminación y reintegrarlas en condiciones adecuadas conforme al título de descarga con la finalidad de permitir su explotación, uso o aprovechamiento posterior en otras actividades o usos y mantener el equilibrio de los ecosistemas. Tal disposición es importante para asegurar el desarrollo sustentable de las zonas mineras del país, pues dicha actividad sólo es temporal y se prolonga hasta que se han agotado los minerales de interés, después de ello, la contaminación o abatimiento del acuífero puede limitar el desarrollo de otras actividades productivas. Según el informe de la Cámara Minera, la comisión de aguas consiguió que durante las modificaciones a la Ley de Aguas Nacionales se admitiese el depósito de residuos en cauces y riberas de ríos, cumpliendo con la legislación ambiental.

El artículo 29 bis contempla que los concesionarios deben asumir los costos económicos y ambientales de la contaminación que provocan sus descargas, así como asumir las responsabilidades por el daño ambiental causado. Sus implicaciones pueden abarcar el problema de la generación del drenaje ácido, producto de la reacción del agua con los metales (Kleimann *et al.*, 1981; Lawrence y Scheske, 1997).

Uno de los motivos por los cuales se puede restringir el uso del agua es cuando esté implicado la afectación a zonas declaradas de protección, veda, reserva de aguas, y para la preservación o reestablecimiento de ecosistemas vitales y del medio ambiente. Así, la actividad minera puede verse interrumpida esencialmente en el norte del país, donde existen acuíferos sobreexplotados¹⁶ (CNA, 2002) y por ello se disponga de una veda¹⁷.

Por otro lado, en las sanciones se determina que se suspenderá la concesión, asignación de aguas y bienes nacionales a cargo del Ejecutivo Federal cuando el concesionario descargue aguas residuales que afecten o puedan afectar fuentes de

¹⁶ En el año 2000, el 14% del total de los acuíferos del país estaban sobreexplotados concentrándose en las regiones hidrológicas : Península de Baja California. Noroeste. Cuencas Centrales del Norte. Río Bravo y Lerma-Santiago-Pacífico.

¹⁷ El artículo 39 bis establece la posibilidad de expedir decretos para el establecimiento de zonas de veda para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales, en casos de sobreexplotación de las aguas nacionales, ya sea superficiales o del subsuelo, sequía o de escasez extrema o situaciones de emergencia o de urgencia, motivadas por contaminación de las aguas o por situaciones derivadas de la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales.

abastecimiento de agua potable o a la salud pública y así lo solicite la autoridad competente.

Aunque no existe una mención explícita de la regulación del agua por parte de la actividad minera, a través de la Ley de Aguas Nacionales se pueden ejecutar obras de restauración en las minas de manera indirecta para proteger el agua. Estas pueden darse no sólo durante su operación sino al finalizar sus actividades si existen problemas de drenaje ácido.

Otro de los aspectos involucrados con el desarrollo de proyectos mineros es la generación de residuos. La Ley de Gestión Integral de Residuos (LGIR) dispone en el artículo 17 que los residuos de la industria minero-metalúrgica producidos por el minado y tratamiento de minerales tales como los jales, son de regulación y competencia federal, y podrán disponerse finalmente en el sitio de su generación. La peligrosidad que representen y el manejo integral, están sujetos a los planes de manejo que estipula la misma ley. Bajo esta consideración, la ley regula el manejo de los residuos que se producen en las minas debido al minado (o extracción de la mena), es decir de las rocas que conforman el estéril, aunque no haga mención explícita de ésta mediante los planes de manejo.

Para realizar dichos planes, el artículo 32 de la LGIR establece que los elementos y procedimientos se especificarán en las NOM correspondientes, sin embargo, aún no existen tales normas.

Otra situación lo representan los jales, ya que éstos no se producen durante el minado sino que son resultado del proceso de beneficio. Su existencia en las cercanías de la mina obedece a la presencia de una planta de beneficio y aunque se presente dicha situación, sólo se regula desde el punto de vista ambiental el residuo, no la mina.

El Reglamento de Residuos Peligrosos en su artículo 36, establece que la disposición final de los residuos peligrosos generados en la industria minera se efectuará en presas de jales de acuerdo con las instrucciones que dicten las normas técnicas ecológicas expedidas en la materia.

Otra de las leyes ambientales mexicanas que tienen relación con los proyectos mineros es la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS). Dentro de sus objetivos destaca el artículo 3, fracción XI: "*promover y consolidar las áreas forestales permanentes, impulsando su delimitación y manejo sostenible, evitando que el cambio de uso de suelo con fines agropecuarios o de cualquier índole afecte su permanencia y potencialidad*". Lo anterior, tiene consecuencias en el desarrollo de proyectos mineros debido a que la apertura de una mina implica el cambio de uso de suelo.

Por otro lado en la misma ley pero dentro del artículo 117 se determina que para realizar el cambio de uso de suelo es necesaria la opinión técnica del Consejo Estatal forestal con base en estudios técnicos justificativos. En el artículo 118 se establece que *"los interesados en el cambio de uso de terrenos forestales, deberán acreditar que otorgaron depósito ante el Fondo¹⁸, para concepto de compensación ambiental para actividades de reforestación o restauración y su mantenimiento, en los términos y condiciones que establezca el Reglamento"*. Así, la minería también es susceptible de cumplir con esta obligación.

En el reglamento de la LGDFS, se especifica el contenido de los estudios técnicos justificativos. Además de información de tipo general, se solicita las medidas de prevención y mitigación de impactos sobre los recursos forestales, la flora y fauna silvestres aplicables durante las distintas etapas del desarrollo del cambio de uso de suelo, también deben incluirse los servicios ambientales que pudieran estar en riesgo, la estimación económica de los recursos biológicos forestales, la justificación técnica, económica y social que motive la autorización del cambio, así como la estimación del costo de las actividades de restauración por el cambio de uso del suelo. La autorización del cambio de uso de suelo tiene también como condición un depósito por parte del interesado por concepto de compensación ambiental, la cual se utilizará en otros sitios para reforestar, restaurar y dar mantenimiento. Por lo tanto, no se considera la temporalidad de la minería ni el aseguramiento de las medidas necesarias para la protección de ambiente y de usos posteriores cuando termina la explotación.

7 La restauración ecológica en la legislación

Dentro de la LGEEPA se considera la restauración de áreas donde se presenten procesos de degradación, desertificación o desequilibrios ecológicos de gran magnitud (artículo 78).

Los artículos 78, 78 bis y 78 bis1 de la LGEEPA incluyen los aspectos relacionados con la restauración. De acuerdo con ésta, le corresponde a la SEMARNAT formular y ejecutar programas de restauración ecológica, promoviendo la participación de los propietarios, poseedores, organizaciones sociales, públicas o privadas, pueblos indígenas, gobiernos locales y quienes se encuentran interesados.

Cuando se trate de procesos acelerados de desertificación o degradación que involucren la pérdida de recursos de regeneración difícil, recuperación o restablecimiento o afectaciones irreversibles de los ecosistemas o sus elementos, la Secretaría deberá promover ante el Ejecutivo Federal la expedición de declaratorias para el establecimiento de zonas de restauración.

¹⁸ El Fondo Forestal Mexicano

En virtud de los impactos que genera la minería en el ambiente, se pueden presentar problemas de degradación que involucran la contaminación del agua o la disminución del mando freático; además de la deforestación y pérdida total del suelo por apertura de los tajos en determinadas extensiones de suelo. Como resultado de lo anterior, las minas que en el pasado operaron sin precauciones ambientales generan pasivos ambientales y de acuerdo a la valoración que se les atribuya, pueden constituir zonas de restauración.

Cabe mencionar que de las 85 zonas de restauración ecológica decretadas en 1998, 61 de ellas estaban integradas dentro de los límites de las regiones terrestres prioritarias (RTP)(Arriaga *et al.*, 2000). De éstas, la RTP-41 Cananea-San Pedro, considera un predio de 534.6 Ha como zona de restauración entre otros motivos por que es fuente y protección de acuíferos para los ríos Sonora, San Pedro y Magdalena y la presencia de muchas especies sujetas a protección. Los problemas que se han presentado en dicha zona además del sobrepastoreo en los pastizales es la contaminación por aguas negras y desechos de las minas de Cananea.

Otro caso es la RTP-42 Sierras Los Ajos-Buenos Aires- La Purica en el Estado de Sonora, que también posee una zona de restauración de 101.25 Ha pues la diversidad de ecosistemas y la presencia de osos, pumas y el águila real entre otros lo hacen un lugar importante desde el punto de vista de la conservación. Sus problemas son las presiones que genera la ganadería, la cacería furtiva y la minería¹⁹.

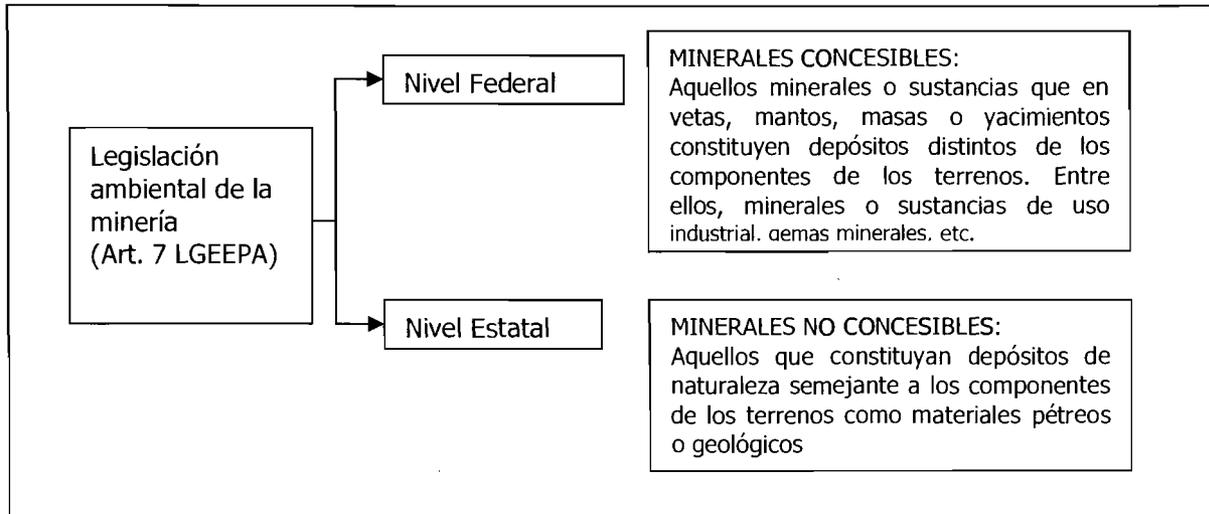
Si bien las zonas de restauración ecológica decretadas en 1998 respondieron en gran medida a los incendios ocurridos en dicho año y como medida para evitar el cambio de uso de suelo en éstos, aún falta considerar aquellos lugares en los cuáles deban atenderse procesos de degradación, desertificación o desequilibrios ecológicos de gran magnitud que obedezcan a otras causas como la minería.

8 La legislación ambiental estatal

Los recursos minerales son propiedad de la Nación y es esta la que otorga a los particulares, mediante una concesión la posibilidad de explorar y explotarlos. Los minerales que no son concesibles, es decir, no reservados a la Federación, son aquellos de naturaleza semejante a los terrenos como las rocas y otros materiales pétreos, así los Estados se encargan de regular estos minerales. A partir de esta división surge la forma en que se da la regulación ambiental en la minería (Fig 3.3).

¹⁹ Destacan como áreas con poca representatividad de RTP entre otros, el Altiplano potosino-zacatecano y el este de Chihuahua, ambos lugares con posible ocupación minera dada la tradición de tales Estados en la minería.

Fig. 3.3 División de competencias en la legislación ambiental de la minería.



En el artículo 7 de la LGEEPA se dispone que compete a los Estados la prevención y control de la contaminación generada por el aprovechamiento de sustancias no concesibles. La legislación ambiental en estas sustancias es heterogénea con relación al desarrollo de normas o reglamentos que tratan sobre esta actividad, pero también existen diferencias sobre la obligación de restaurar la mina una vez que ha concluido su vida operativa.

En las leyes ambientales de los Estados del país, se encuentran disposiciones sobre la protección al medio a través de la evaluación de impacto ambiental. En entidades como Campeche, Guerrero, Morelos, Sonora, Veracruz y Yucatán, una vez que la autoridad ambiental ha evaluado el impacto ambiental se establecen los requisitos para otorgar el permiso de explotación, lo cual no significa necesariamente que los responsables del proyecto lleven a cabo la restauración de la zona afectada.

En cambio, los Estado de Aguascalientes, Baja California, Chihuahua y Puebla²⁰ incluyen de manera explícita en sus respectivas leyes ambientales la obligación de regenerar, reforestar y/ o restaurar las áreas utilizadas una vez concluidos los trabajos de explotación. Además, someten al procedimiento de evaluación de impacto ambiental la explotación de minerales que marca el artículo 7 de la LGEEPA.

Lo que parece ser común en la mayoría de los Estados es la falta de garantías que permitan cumplir con los compromisos o requisitos que pide la autoridad

²⁰ La Ley de Protección al Ambiente y el Equilibrio Ecológico del Estado de Puebla contempla un capítulo, en el que se indica específicamente que los aprovechamientos mineros deben de garantizar medidas de restauración y mitigación. Actualmente en el Congreso del Estado se encuentra en Evaluación el Proyecto de Reglamento de la Ley, en materia de Evaluación del Impacto Ambiental.

ambiental. No obstante, la presencia de instrumentos económicos o la creación de fondos ambientales están contemplados en algunas entidades²¹, y aunque no se especifica el caso de la actividad minera, pudieran aplicarse para acatar las disposiciones de la autoridad.

Esto cobra particular importancia porque la actividad minera de sustancias no concesibles es desarrollada no sólo por grandes empresas sino por ejidatarios, es decir, se trata de minería social. Ésta se caracteriza por ser una actividad con un fuerte componente de trabajo manual, dirigida a la exploración, beneficio o comercialización de minerales no metálicos, sobre todo rocas dimensionables como los agregados pétreos y grava. Una de sus limitantes es la obtención de capital de trabajo y créditos, por lo que las posibilidades de asumir los costos por la restauración u obras que mitiguen sus impactos son bajas²².

Algunos otros Estados han expedido los reglamentos y normas relativos a la protección ambiental en materia de explotación de minerales no concesibles, tal es el caso de Colima, Guanajuato, Jalisco, Estado de México y Hidalgo (Tabla 3.7). De estas entidades, las tres últimas son destacadas productoras de minerales no metálicos y de acuerdo con el capítulo I, dentro de dichos estados se estima un área de minado superficial y deterioro mayor que en el resto. Otros importantes productores como Coahuila, Distrito Federal y Baja California Sur no cuentan con un reglamento específico que regule en materia ambiental el minado superficial.

Tabla 3. 7. Estados con normatividad ambiental específica en materia de explotación de sustancias no concesibles.

Estado	Norma o Reglamento	Inicio de la vigencia
Colima	Reglamento de la Ley de Preservación ambiental del Estado de Colima para la operación de bancos de material pétreo y yacimientos geológicos a cielo abierto.	13 marzo 1994
Estado de México	Acuerdo del Secretario de Ecología por el que se establecen los criterios ambientales para la regularización de minas en explotación de materiales pétreos no consolidados (arena, grava, tezontle, tepojal, tepetate) en el Estado de México	26 abril de 1997
Guanajuato	Norma técnica ecológica nte-ieg-002/98 que establece las condiciones para la localización de bancos de materiales pétreos en el estado, así como sus parámetros de diseño, explotación y medidas de regeneración ambiental.	22 julio 1998
Hidalgo	Norma Técnica ecológica estatal NTEE-COEDE001/2000 que establece los criterios y lineamientos para la explotación de bancos de materiales pétreos.	11 julio 2000
Jalisco	Reglamento de la Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente en materia de impacto ambiental, explotación de bancos de material geológicos, yacimientos	14 febrero 1992

²¹ Algunos ejemplos son los Estados de Baja California, Puebla y Veracruz.

²² La estrategia seis del PNDM 2002-2006 . trata del apoyo a la minería social con asesoría técnica, obtención de capital de trabajo y créditos, capacitación para emplear maquinaria y evitar la afectación del paisaje, la flora y fauna locales además de la salud de los miembros de la comunidad.

Estado	Norma o Reglamento	Inicio de la vigencia
	pétreos y de prevención y control de la contaminación a la atmósfera generada por fuentes fijas en el Estado de Jalisco.	

La norma técnica NTE-IEG-002/98 de Guanajuato es la más completa y específica de todas, pues considera los requisitos que deben cumplirse en aspectos como ubicación, estudios de impacto ambiental, estudios geológicos y geofísicos, geohidrológicos, topográficos, diseño de la explotación del banco de materiales pétreos (en cada una de sus fases y componentes), el diseño de la restauración de la zona afectada y abandono del sitio.

De los aspectos más importantes que se consideran en estos dos últimos puntos están la conservación y manejo del suelo, el programa de recuperación y restauración ecológica del área impactada (en la que destaca el proyecto de uso posterior del sitio y la restitución general del paisaje), el proyecto de rescate ecológico y trasplante de especies vegetales; la restitución del suelo, el despalme, los desechos y el uso del predio al término de la explotación.

A pesar de ser la más completa, adolece en algunos puntos, el primero que resalta es la falta de fianzas o garantías económicas que aseguren el cumplimiento de cada uno de los puntos, pues en comparación con la normatividad de otros estados es la más rigurosa y en consecuencia demandará recursos económicos para consumarlos.

Enseguida, existen criterios técnicos que no tienen sustento científico para llevarlos a cabo como almacenar el suelo y compactarlo para después usarlo en la restauración. En algunos puntos existen normas que son copia textual de la normatividad de otro estado. Esto, en parte refleja la falta de conocimientos necesarios para aplicarlos a este tipo de problemas.

Una situación similar se observa en la norma técnica ecológica NTEE-COEDE001/2000 del Estado de Hidalgo, en cuyo contenido se encuentran los criterios y especificaciones relativos a las labores de explotación, la observancia de los recursos hídricos en las actividades de explotación, infraestructura, disposición y manejo de residuos sólidos o líquidos y finalmente la rehabilitación ecológica. Dicha norma, en su mayoría contiene disposiciones (textuales) que también contempla el "Acuerdo por el que se establecen los criterios ambientales para la regularización de minas en explotación de materiales pétreos no consolidados en el Estado de México". Ambos además coinciden en la falta de fianzas o algún instrumento económico de asegure el cumplimiento de las responsabilidades del titular de la explotación de la mina.

Al igual que en el caso de Guanajuato, ambas normativas carecen en sus disposiciones técnicas de un fundamento científico para conducir el proceso de

rehabilitación ecológica. Por citar un ejemplo, se solicita que los taludes de las minas así como su piso estén cubiertos en su totalidad por una capa de suelo fértil de 30 cm como mínimo; dicha circunstancia incluso puede ser diferente de su situación original y se ha demostrado que con menos cantidad de suelo puede llegar a revegetarse un banco de materiales o puede ser inadecuado usarlo (Rogowski y Weinrich, 1990; Márquez, 1999).

Estas disposiciones son inflexibles pues no consideran el estado previo de la zona a ser minada y tampoco favorece la aplicación de técnicas que pudieran resolver el problema sin la necesidad de extraer suelo de otro sitio para cumplir con la normatividad cuando se carece de suelo. Gran parte del país posee una orografía accidentada en la que predominan suelos delgados como los leptosoles, regosoles y calcisoles (SEMARNAP, 1999), sobre todo en las laderas; de ahí que no es congruente la normatividad con las condiciones particulares de cada sitio.

En otros casos como el de Colima y Jalisco, se contempla el uso de fianzas equivalentes hasta por el 100% de los derechos que corresponda pagar conforme a los volúmenes proyectados en un lapso de 12 meses con el fin de garantizar los trabajos que dicte la autoridad ambiental. No obstante, las especificaciones que solicitan en ambos Estados, comprenden menos puntos y etapas.

Por ejemplo en la normatividad de Colima, se considera lo relativo al diseño de la explotación del banco de materiales, medidas de protección de accidentes, y de las obligaciones de los titulares de los yacimientos. La responsabilidad de dictar los trabajos necesarios de mejoramiento ecológico recaen en la Dirección de Ecología del Estado una vez que han concluido la extracción, lo que impide la prevención de impactos. En general, no existen disposiciones concretas sobre cómo debe restaurarse el sitio afectado y sobre la posibilidad de dar usos alternativos una vez terminada la explotación.

En el caso del reglamento en esta materia para Jalisco, se determina que la explotación, extracción y procesamiento de minerales y sustancias no concesibles debe someterse a una EIA y solicita como parte de ella (en su versión general) un programa para el abandono de las obras y al mismo tiempo una fianza cuando se trata de bancos de material geológico y yacimientos pétreos. Como ocurre en el caso de Colima, en su mayoría se abarcan aspectos técnicos del diseño de la explotación y medidas de seguridad sin concretar sobre los aspectos de restauración; sin embargo, el artículo 41 hace mención sobre el aseguramiento de la utilidad racional del terreno.

9 La Ley Minera

En 1992 la ley Minera sufrió cambios que básicamente obedecieron a la participación de capitales extranjeros en la Industria minera y, es en este

momento después de siglos de regulación minera que se incluyen escasos aspectos sobre la protección del ambiente.

La ley vigente tiene un carácter fundamentalmente productivista, es decir, carece de disposiciones sustantivas relacionadas con el cuidado del ambiente por los efectos provocados durante la exploración, explotación, beneficio y aprovechamiento de los minerales.

La Ley Minera establece que las actividades mineras serán preferentes sobre cualquier otro uso y aprovechamiento del terreno, que las concesiones y asignaciones mineras se otorgarán en los "terrenos libres", entendiéndose por estos todo tipo de suelos, tales como los agrícolas, pecuarios o forestales etc., que no estén comprendidos en las excepciones²³. Estas disposiciones no consideran la vocación natural del territorio ni parecen ser congruentes con el ordenamiento ecológico del territorio, que es un instrumento preventivo de planeación para evitar la degradación del ambiente.

Así mismo, el artículo 19 establece que las concesiones de exploración y de explotación confieren derecho entre otras cosas a :

1. Obtener la expropiación, ocupación temporal o constitución de servidumbre de los terrenos indispensables para llevar a cabo las obras y trabajos de explotación, explotación y beneficio, así como para el depósito de terreros, jales, escorias y graseros.
2. Aprovechar las aguas provenientes de las minas para la exploración y explotación de éstas, el beneficio de los minerales o sustancias que se obtengan y el uso doméstico del personal empleado en las mismas.
3. Obtener preferentemente concesión sobre las aguas de las minas para cualquier uso diferente a los señalados en la fracción anterior, en los términos de la ley en materia.

Al mismo tiempo, el reglamento de la Ley minera dispone en el artículo 47 que: *"para el aprovechamiento de las aguas distintas a las provenientes del laboreo de las minas, así como respecto de las aguas superficiales comprendidas dentro del lote minero que ampare la concesión, se estará a lo establecido por la ley en la materia"*. Como se puede apreciar, no existe alguna mención explícita sobre la prevención de la contaminación del agua, su conservación y de las afectaciones que pudiera ocasionar el uso del agua por la minería sobre otras actividades económicas, sobre todo si consideramos que gran parte de la actividad minera se desarrolla en la zona árida del país, donde el agua es un recurso limitado (CNA, 2002).

²³ Artículos 6 y 13 de la Ley minera.

Artículo 14: Las excepciones son: las zonas marinas mexicanas, los zócalos submarinos de las islas, cayos y arrecifes, el lecho submarino y el subsuelo de la zona económica exclusiva, las zonas incorporadas a reservas mineras, las concesiones y las asignaciones mineras en trámite

Sin embargo, en los artículos 27 fr. IV y artículo 39, la Ley Minera obliga a los titulares de concesiones de exploración y explotación a sujetarse a las disposiciones generales y normas específicas aplicables a la industria minerometalúrgica, y a procurar el cuidado del medio ambiente y la protección ecológica de conformidad con la legislación y la normatividad en esta materia. Así mismo, el artículo 20 asienta que *"las obras y trabajos de exploración y explotación dentro de... las áreas naturales protegidas, únicamente podrán realizarse con autorización de la autoridad que tenga a su cargo los referidos bienes, zona o área, en los términos que señalen las disposiciones aplicables"*. El artículo 55 de la misma ley, establece que se sancionará con la cancelación de la concesión minera cuando se realicen obras y trabajos de exploración o de explotación sin las autorizaciones necesarias en áreas naturales protegidas.

La ley minera, por lo tanto, no reglamenta y tampoco establece cómo procurar el cuidado del ambiente durante todas las etapas de los desarrollos mineros. Por lo que, la legislación ambiental es la que debe regular sobre los impactos que genere esta actividad en el ambiente a través de los instrumentos de los que dispone la LGEEPA.

Otras implicaciones ambientales derivadas de la ley minera tienen que ver con los términos de las condiciones que se establezcan para otorgar la expropiación, ocupación temporal y constitución de servidumbre. En los capítulos II y III del reglamento de la ley minera, se disponen que debe acreditarse fehacientemente la conformidad del afectado, además establece los plazos y el procedimiento para hacer la valuación con el fin de determinar el monto de las indemnizaciones²⁴.

Así, las disposiciones de la Ley Minera relativas a la afectación de terrenos debidas a la minería establecen sólo medidas económicas compensatorias basadas en la renta de los terrenos durante el tiempo que dure ésta y un pago único por concepto de expropiación. Sin embargo, la compensación económica no es una política sustentable debido a que ésta no cubre los costos ambientales que se desprenden de la degradación ambiental, sobre todo de las minas superficiales donde se pierde la productividad de la tierra para otros usos, y no fomenta las acciones de restauración.

Es posible aún cuando la Ley no lo determine, que al hacer un contrato para establecer la servidumbre u ocupación temporal quede acordado que una vez finalizado el proyecto o afectación se regrese la tierra a sus condiciones productivas anteriores u otras diferentes.

²⁴ En el caso de la expropiación, la indemnización se cubrirá en una sola exhibición y tratándose de la servidumbre y la ocupación temporal se cubrirá anualmente y será equivalente al valor de la renta del terreno por afectar durante la vigencia de la afectación. Cuando se trate de terrenos destinados a presas de jales, depósitos de escorias o graseros, explotación a cielo abierto y subterráneas que ocasionen o puedan ocasionar hundimiento de la superficie se cubrirá una compensación anual adicional durante los primeros cinco años de la afectación equivalente al 50% de la renta de dicho terreno.

Como ha quedado reconocido en el PNDM, la introducción de disposiciones específicas en materia ambiental e indígena en la Ley minera es parte de su modernización. De hecho existe una iniciativa que adiciona, reforma y deroga diversos artículos de ésta y de la Ley Federal de derechos²⁵.

Tal propuesta está basada en tres consideraciones básicas:

1. La igualdad jurídica de los sectores agropecuario y minero.
2. Aportar un mecanismo fiscal para fomentar la diversificación económica en los municipios donde se haga explotación de recursos del subsuelo.
3. Garantizar la preservación del ambiente.

Podemos encontrar justificación del primer punto cuando se compara el porcentaje del producto interno bruto (PIB) que aporta la minería y de aquellos sectores que podrían competir por el uso del suelo. Bajo esta comparación, la minería hace una contribución económica menor que el sector agropecuario a pesar de la prioridad que le otorga la Ley minera sobre cualquier otra actividad (Tabla 3.8).

Tabla 3.8 Estructura sectorial del PIB (1960-1996). Tomado de Hernández, 2000.

Sector de actividad	1960	1970	1981	1988	1996
Agropecuario	15.6	11.2	8.0	6.9	6.5
Minería	3.3	2.6	3.4	1.6	1.5
Manufacturas	20.4	23.0	21.6	18.6	20.3
Consumo final	13.4	13.5	10.7	8.9	9.2
Consumo intermedio	4.3	5.5	6.1	5.6	5.8
Bienes de capital	2.7	4.0	4.8	4.1	5.3
Construcción, electricidad y servicios	60.7	63.1	66.9	72.9	71.8
Total	100.0	100.0	100	100.0	100.0

Lo anterior puede estar fundamentado en la distribución geográfica de cada sector. En México la minería se desarrolla principalmente en los estados del Norte y centro del país; al mismo tiempo, la ganadería en el norte y la agricultura en el centro son las actividades que mayor porcentaje ocupan de la superficie antrópica de cada Estado (SEMARNAT, 2002a).

El desarrollo de la minería en alguna de éstas regiones puede significar la pérdida o disminución de la producción agropecuaria y la reducción del patrimonio de este sector en el ámbito de las economías regionales de las comunidades rurales; y quizá hasta la apertura de nuevas tierras con vegetación natural para continuar con la ganadería y /o agricultura.

El segundo punto se entiende por los antecedentes que se dispone sobre las comunidades mineras una vez que ha concluido la vida operativa de las minas. El ejemplo claro son los pueblos fantasma o la generación del desempleo. Por ello, a

²⁵ El 28 de abril de 2005 se publicó en el Diario Oficial de la Federación, las modificaciones a la Ley Minera sin que se incluyeran varias de las propuestas de la iniciativa de la cual se menciona en esta sección.

través de modificaciones fiscales se pretende que los Estados y Municipios participen del cobro de derechos de Minería para realizar inversiones dirigidas a hacer una diversificación económica e infraestructura que ofrezcan alternativas de desarrollo económico en la zona cuando se agoten los yacimientos.

El tercer punto, tiene relación con los dos anteriores. Por un lado, la desigualdad en la prioridad que tiene la minería sobre cualquier otro uso del suelo deja de lado aspectos ambientales y no se contempla un análisis de costo-beneficio sobre cualquier otra alternativa productiva incluyendo la valoración por servicios ambientales, el cual debería implementarse.

Lo siguiente a tener en cuenta es que la preservación del ambiente es un elemento esencial para asegurar el desarrollo sustentable de la comunidad. Los pasivos ambientales que pudieran generarse como resultado de la actividad minera interfieren no sólo con la salud de los pobladores cuando se trata de contaminación sino con la capacidad productiva de la tierra y/ o con la disposición de recursos suficientes como el agua. Por lo cual, la reforma que se pretende llevar a cabo incluye la incorporación de fianzas para garantizar el cuidado del ambiente.

Paralelamente a la incorporación de las fianzas, es necesario llenar los huecos de la legislación ambiental en la minería, como el desarrollo de normas (NOM) aplicables a cada etapa del desarrollo de la minería superficial que protejan la calidad y cantidad de agua subterránea y superficial, las vibraciones, la protección de la flora y fauna, el manejo adecuado de los residuos generados durante el descapote (roca estéril), la prevención y detección de la generación de drenaje ácido y liberación de metales pesados, el manejo adecuado del suelo, la regulación sobre las modificaciones topográficas y estéticas. Además de lo anterior, es fundamental contar con la legislación que permita hacer un plan integral del desarrollo minero que comprenda hasta el cierre de las minas, y se realice y apruebe antes del inicio de operaciones para prevenir y mitigar los impactos y restaurar el ambiente. Así mismo, el uso de instrumentos económicos lograría la incorporación de costos ambientales dentro de los costos de operación de los proyectos para incentivar la reducción sus emisiones contaminantes y prevenir la degradación ambiental.

CONCLUSIONES

El desarrollo de instrumentos legales en materia ambiental se inició en el mundo a mediados del siglo XX, y para el caso de la minería, estos comenzaron a aplicarse a partir de la década de los 70's en los países desarrollados. Actualmente, la restauración de las minas superficiales en estas naciones es llevada a cabo a través de regulaciones de comando y control en combinación con instrumentos económicos que permiten asegurar antes del inicio del proyecto minero, que la restauración de las minas se lleve a cabo, lo cual ha sido en ciertos casos uno de

los requisitos para aprobar el desarrollo de los proyectos. Esta tendencia parece incrementarse y es fomentada por organismos internacionales que castigan o condicionan sus beneficios por mejoras en el desempeño ambiental, lo cual incluye la etapa de cierre. De esta manera, desde el ámbito internacional se influye en la incorporación de temas ambientales dentro de los proyectos de minería, pero sólo toca a las grandes empresas, que en nuestro país son las que tienen la capacidad para abrir grandes minas superficiales y de minerales metálicos o de carbón, cuyos daños ocasionados por su operación constituyen los más serios.

En el ámbito nacional, existen grandes vacíos legales que tengan el grado de especificidad necesario para regular todas las etapas, especialmente la de cierre. Además, existen problemas de discrecionalidad en las evaluaciones de impacto ambiental, que es el instrumento que podría establecer como condición de la aprobación en materia ambiental del proyecto, la restauración de las minas superficiales. Dentro de la competencia estatal, sólo algunos estados cuentan con los instrumentos específicos que implanten la obligación de establecer las condiciones ambientales necesarias para recuperar la productividad de las minas de sustancias no concesibles. En la mayoría de las entidades del país, la evaluación de impacto ambiental regula el cierre pero al igual que al nivel federal, existe discrecionalidad.

La aplicación de instrumentos económicos que incorporen dentro del precio de los productos minerales los costos por conceptos ambientales prácticamente no existe en México a pesar de que están consagrados en la LGEEPA. La implementación de fianzas, bonos u otros, permitiría el aseguramiento de la restauración de las minas. En este aspecto existen las principales diferencias con los países desarrollados que los han usado como medida preventiva para afianzar la preservación del ambiente en las localidades, enviar señales a los consumidores de los productos que contienen minerales sobre los costos ambientales de tal forma que influyan en su comportamiento, y para no incrementar los pasivos ambientales en la forma de minas abandonadas.

BIBLIOGRAFÍA

Parte I

- Australian minerals industry. 2000. Code for environmental management.
- Biodiversity treaty (convention on biological diversity) June 5, 1992.
- Blacutt, W. 1992. "Environmental legislation, economic growth and risk in minerals development: the Bolivian case". En *Risk Assessment/Management issues in the environmental planning of mines*. (Zyl, D. V., Koval, M. y Ta. Editores) Society for mining, metallurgy and exploration. USA. 206 pp.
- Bradshaw, A.D. y M.J. Chadwick. 1980. *The Restoration of land*. Blackwell Scientific Publications.
- Cohen, M. 1996. "A new menu for the hard-rock café: International mining ventures and environmental cooperation in developing countries". *Stanford environmental law journal*. Vol 15 pág 130.
- Davis, A. y C. Webb. 1995. "Abandoned mines inventory and reclamation in the Black Hills of South Dakota". In *New Remediation Technology in the changing environmental arena*. Schiner, B.J., Chatwim, T.D. El-Shall, H., Kawatra, S.K. y A.E. Torma Editores) Society for mining, metallurgy and exploration. USA. pág.
- Environmental Protection and Biodiversity Conservation Act, administrative guidelines on significance, Australia. Julio 2000.
- Gallardo, O. y F. Ramenzoni. 2000. "Análisis de la Legislación Chilena sobre el Cierre y Abandono de Faenas Mineras". En *Cierre de Minas: experiencias en Iberoamérica*. (Roberto C. Villas Boas y María Laura Barreto, Editores). CYTED/IMAAC/UNIDO. Brasil. 581 pp.
- González, Z. P. 1999. Tratamiento normativo de la fase minera post-operacional en los países minero latinoamericanos y la planificación del cierre. Informe intership.
- González, Z. P. 2000. "Tratamiento normativo de la Fase Minera Post Operacional". En *Cierre de Minas: experiencias en Iberoamérica*. (Roberto C. Villas Boas y María Laura Barreto, Editores). CYTED/IMAAC/UNIDO. Brasil. 581 pp.
- Gordillo, S.R. 2000. "Normatividad Ambiental en Perú y Legislación sobre cierre de minas". En *Cierre de Minas: experiencias en Iberoamérica*. (Roberto C. Villas Boas y María Laura Barreto, Editores). CYTED/IMAAC/UNIDO. Brasil. 581 pp.
- INEGI. 2002. *La Minería en México*. México.
- Lee, R.A. 1999. *The legal, engineering, environmental and social perspective of Surface Mining Law and Reclamation by Landfilling*. Imperial College Press. Singapur. 512 pp.
- Lozada-Nava, M. 2000. "Cierre de Minas en México". En *Cierre de Minas: experiencias en Iberoamérica*. (Roberto C. Villas Boas y María Laura Barreto, Editores). CYTED/IMAAC/UNIDO. Brasil. 581 pp.

- McKay, B., Lambert, I. y S. Miyazaki. 2002. Australian Mining Activity.
- Mining watch. 2000. <http://miningwatch.ca/>
- Pring, G. 2003. International law and mineral resources. United Nations Conference on trade and development (UNCTAD). 51 pp.
- Reed, D. 1993. The global environmental facility and non-governmental organizations. American University journal of international law & policy.(vol 9).pág 191-213.
- Roberts, S., Veiga, M. y C. Peiter. 2000. Aspectos generales del Cierre y Recuperación de Minas en las Américas (Resumen ejecutivo). MPRI/IIPM/IDCR/UBC. 45pp.
- Sánchez, F., Ortíz, G. Y N. Moussa. 1999. Panorama minero de América Latina a fines de los años noventa. CEPAL. División de Recursos Naturales e Infraestructura. Santiago de Chile. 82 pp.
- UNEP y comisión chilena del cobre. 2001. Abandoned mines: problems, issues and policy challenge for decision makers (Sumary report). UNEP y comisión Chilena del cobre. 23 pp.
- Walde, T.1992. "Environmental policies toward mining in developing countries". *Journal of energy & Natural resources law.* (10): 327-357.

PARTE II

- Acuerdo del Secretario de Ecología por el que se establecen los criterios ambientales para la regularización de minas en explotación de materiales pétreos no consolidados (arena, grava, tezontle, tepojal, tepetate) en el Estado de México. Gaceta oficial del Estado de México. 26 abril de 1997.
- Acuerdo que modifica la Norma Oficial Mexicana NOM-120-SEMARNAT-1997. Que establece las especificaciones de protección ambiental para las actividades de exploración minera directa, en zonas con climas secos y templados en donde se desarrolle vegetación de matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio, bosques de coníferas o encinos, publicada el 19 de Noviembre de 1998.
- Arriaga, L., Espinoza, J.M., Aguilar, C.,Martínez, E., Gómez, L. y E. Loa. (coordinadores) 2000. *Regiones terrestres prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 609 pp.
- Ayala, R. 1999. "Primer centenario del complejo minero metalúrgico de Cananea 1899-1999". *Mundo Minero*
- Brañes, R. 2000. *Manual de derecho ambiental mexicano*. Fondo de cultura económica y Fundación mexicana para la educación ambiental. 770 pp.
- Cámara Minera. 2003. Informe de la Comisión de Ecología y Recursos Naturales. www.camaraminera.topcites.com
- CNA. 2002. *Compendio básico del agua en México*. México.
- Estrada, S. 1993. "La protección ambiental y la industria minera mexicana". *Minero Noticias* no. 159, año 16: 31-41.
- Hernández, E. 2000. *Prospectiva demográfica y económica de México y sus efectos sobre la pobreza*. CONAPO. México. 85 pp.

- Iniciativa con proyecto de decreto que adiciona, reforma y deroga diversos artículos de la ley minera y de la Ley Federal de Derechos. Gaceta Parlamentaria. México. 9 de Diciembre de 2003.
- Kleimann, R., Crerar, D. Y R. Pacelli. 1981. "Biogeochemistry of acid mine drainage and a method to control acid formation". *Mining eng.* 33:300-304.
- Lawrence, R. Y M. Scheske. 1997. "A method to calculate the neutralization potential of mining wastes". *Environmental Geology* 32 (2): 100-106.
- Ley de Gestión Integral de Residuos. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de Febrero de 2003 (Nueva Ley).
- Ley de protección al ambiente del estado de Yucatán. 22 abril 1999.
- Ley de Protección al ambiente para Baja California. Publicado en el Periódico Oficial No. 53, de fecha 30 de noviembre de 2001, Sección I, Tomo CVIII.
- Ley de Protección ambiental para el Estado de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags., 3 de febrero de 2000
- Ley del equilibrio ecológico y la protección al ambiente para el Estado de Sonora. 3 enero de 1991.
- Ley del equilibrio ecológico y protección al ambiente del Estado de Guerrero. Publicado en el Periódico Oficial del gobierno del Estado de fecha 19 de marzo de 1991.
- Ley del equilibrio ecológico y protección al ambiente del estado de Campeche. 21 de Junio de 1994.
- Ley Ecológica para el Estado de Chihuahua. Publicado en el Periódico Oficial No. 86 del 26 de octubre de 1991. Incluye reforma mediante Decreto No.1212-98 XII P.E. publicado en el Periódico Oficial No. 88 del 4 de noviembre de 1998.
- Ley estatal de protección ambiental de Veracruz. Ley publicada en la Gaceta Oficial. Órgano del Gobierno del Estado de Veracruz-Llave el viernes 30 de junio de 2000.
- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. México. Diario Oficial de la Federación
- Ley Minera. Diario Oficial de la Federación del 26 de junio de 1992. México.
- Ley para la protección del ambiente natural y el desarrollo sustentable del Estado de Puebla.
- Li, T.M. y M. Snedeker. 1990. Current status and future trends. En Surface mining (Kennedy, B.A. editor) Society for mining metallurgy and exploration Inc. (AIME) USA. 1194 pp.
- Márquez, R. 1999. Regeneración de la vegetación en distintos ensayos de restauración de mina de roca caliza a cielo abierto en una industria cementera, Ixtaczoquitlán, Veracruz. Tesis Maestría. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz. México. 145 pp.
- Minería CAMIMEX, 1992. Ecología, prioridad en la industria minera: Premio nacional de ecología 1991 de la A.M.I.M.E. A.C. vol VII, no 9.
- Minería CAMIMEX. 1998. "Materias Primas de México regeneran la mina Otilio en Zacatlán, Estado de Puebla". *Minería CAMIMEX*. Vol IX No. 9 pág. 4.

- Minería CAMIMEX. 2000. "Luismin: Ambientalmente certificada". *Minería CAMIMEX*. Vol X, No. 7. pág. 19-20.
- Minería CAMIMEX. 2000a. "El control ambiental en las minas, comisión Ecología y Recursos naturales". *Minería CAMIMEX*. Vol X No. 8. pág. 15
- Minería CAMIMEX. 2001. "Trabajos de restauración en la Presa de Jales de minera Real de Ángeles". *Minería CAMIMEX*. Vol X, No. 11. pág. 35.
- Minería CAMIMEX. 2002. "Reporte Anual Ambiental 2001. Peñoles". *Minería CAMIMEX*. Julio-Septiembre. Pág: 38-43.
- Mining, Minerals and Sustainable Development (MMSD) Project. 2002. Publicado por Earthscan para el International Institute for Environment and Development y el World Business Council for Sustainable Development.
- Moreno, M. 1992. "Comisión de ecología y recursos naturales". *Minería CAMIMEX*. Vol VII, No. 12.
- Norma Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNAT 2003 Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación de sitios, proyectos, construcción, operación y postoperación de presas de jales
- Norma Oficial Mexicana NOM-120-ECOL-1997. Que establece las especificaciones de protección ambiental para las actividades de exploración minera directa, en zonas con climas secos y templados en donde se desarrolle vegetación de matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio, bosques de coníferas o encinos.
- Norma Técnica ecológica estatal NTEE-COEDE001/2000 que establece los criterios y lineamientos para la explotación de bancos de materiales pétreos. Estado de Hidalgo. 11 julio 2000.
- Norma técnica ecológica nte-ieg-002/98 que establece las condiciones para la localización de bancos de materiales pétreos en el estado, así como sus parámetros de diseño, explotación y medidas de regeneración ambiental. Estado de Guanajuato. 22 julio 1998
- Palacios, C. 2003. Geografía de las corporaciones que participan en la minería metálica de México: 1980-2000. Tesis Doctorado. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México. 257 pp.
- Reglamento de la Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente en materia de impacto ambiental, explotación de bancos de material geológicos, yacimientos pétreos y de prevención y control de la contaminación a la atmósfera generada por fuentes fijas en el Estado de Jalisco. 14 febrero 1992.
- Reglamento de la ley general de equilibrio ecológico y la protección al ambiente en materia de residuos peligrosos. Publicado en el Diario Oficial de la Federación 25 noviembre de 1988.
- Reglamento de la Ley de Preservación ambiental del Estado de Colima para la operación de bancos de material pétreo y yacimientos geológicos a cielo abierto. 13 marzo 1994

- Roberts, S., Veiga, M. y C. Peiter. 2000. Aspectos Generales del cierre y recuperación de minas en las Américas. Executive summary. IDCR, MPRI, CETME-CNPq. Vancouver. 54 pp.
- Rogowski, A. y B. Weinrich. 1990. "Topsoil handling- A biomass productivity approach". En *Surface mining* (Kennedy, B.A. editor) Society for mining metallurgy and exploration Inc. (pág 781-799) (AIME) USA. 1194 pp.
- Secretaría de Economía. 2002. Programa Nacional de Desarrollo Minero 2001-2006. México. 118 pp.
- Secretaría de Economía. 2003. Inversión extranjera. Dirección General de inversión extranjera.
- SEMARNAP. 2000. *La Gestión Ambiental en México*.
- SEMARNAP. 2000a. *La Gestión Ambiental hacia la industria. Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000*. SEMANAP, INE, PROFEPA. México. 97 pp.
- SEMARNAP.1999. *Estadísticas del Medio Ambiente*. Tomo I INEGI-SEMARNAP. México.
- SEMARNAT, 2002. *Guía para la presentación de la manifestación de impacto ambiental Minero, modalidad particular*. Dirección General de Impacto y Riesgo ambiental. México. 114 pp.
- SEMARNAT, 2002a. *Informe de la Situación del medio ambiente en México. 2002*. México.
- SEMARNAT. 2002. *Vegetación y uso del suelo* pág. 31-83. En el medio ambiente en México. México.
- Sinding, D.1999. Economic regulation of environmental impact of mineral activities: application of fiscal, trade and financial instruments. Berlin Roundtable on mining and the environment. 23-26 November.
- Snedeker, M. 1990. "History of mining". En *Surface mining* (Kennedy, B.A. editor) Society for mining metallurgy and exploration Inc. (AIME). USA. 1194 pp.
- UNEP y Comisión Chilena del Cobre. 2001. Abandoned mines. Problems, issues and policy challenges for decision makers. De www.abandoned-mines.org
- Vera, L. R. 2000. "El abandono de minas en México bajo la nueva legislación ambiental". En *Cierre de Minas: experiencias en Iberoamérica*. (Roberto C. Villas Boas y María Laura Barreto, Editores). CYTED/IMAAC/UNIDO. Brasil. 581 pp.

UN ESQUEMA DE RESTAURACIÓN
DE MINAS SUPERFICIALES

1 ANTECEDENTES DE RESTAURACIÓN DE MINAS EN MÉXICO

Los estudios realizados sobre aspectos ambientales de la minería superficial en México son escasos a pesar de la gran importancia y desarrollo que ha tenido esta industria y de los impactos que genera sobre los ecosistemas (Celedón, 1994).

Uno de los primeros intentos de recuperación de minas a cielo abierto en México se llevó a cabo en una mina de carbón a cielo abierto de la empresa MICARE en el Estado de Coahuila (Valdéz, 1986). La rehabilitación de 14'000 Ha con profundidades entre 15 y 20 estuvo a cargo de la empresa con poco conocimiento sobre el manejo del suelo y de las especies a introducir, y sin una definición clara del estado final del proceso así como de los indicadores funcionales o estructurales del éxito del trabajo. A pesar del uso del suelo almacenado y diversos métodos de siembra se encontraron dificultades en el establecimiento de las plantas, y la composición del lugar quedo conformada por dos especies arbustivas y cinco especies de pasto, es decir, se transformó el matorral y bosque a pastizal con el propósito de introducir ganado.

Más recientemente, Márquez (1999) estudió la regeneración de la vegetación en minas de roca caliza a cielo abierto, propiedad de Holcim-Apasco, una empresa cementera en el Estado de Veracruz donde se retiró la vegetación consistente de selva mediana subperennifolia con estados transicionales de bosque mesófilo de montaña.

Los terrenos donde se llevó a cabo la extracción son propiedad de la empresa, sin embargo los impactos ambientales que generó en la localidad y los requerimientos de la autoridad ambiental fueron la motivación principal para regenerar la vegetación en las partes donde concluyó la extracción.

A diferencia del caso MICARE, los trabajos de revegetación estuvieron asistidos por el Instituto de Ecología A.C. (INECOL) y tuvieron mejores resultados. El enfoque del proyecto de restauración fue dar un uso de conservación y restablecimiento del ecosistema. Para conseguir su objetivo, fue necesario realizar experimentos con relación a las especies adecuadas, el uso de suelo y sustratos alternativos entre otros, e incluso para hacer modificaciones en los ángulos de los taludes de los sitios ya minados.

A diez años del inicio de los trabajos de restauración, el impacto visual se ha eliminado prácticamente y se ha producido un cambio en las condiciones

microclimáticas que ha permitido el establecimiento de nuevas especies de plantas, e incluso de animales. Además, la experiencia en restauración aprendida en parte por ensayo y error durante las operaciones, permitió elaborar un esquema general de restauración de las nuevas áreas de explotación de calizas; sin embargo, el modelo no integra las variables económicas y sociales.

Otros esfuerzos de restauración se han hecho por empresas como el Grupo Materias Primas de México, que entregó a la comunidad de Jaltipán la mina como parque recreativo y deportivos en 1994, y tres años después concluían la "reintegración al ambiente" de otra mina en Zacatlán, Puebla (Minería Carnimex, 1998; Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Minas donde se han realizado trabajos de restauración.

Empresa	Mina	Localidad
Grupo Materias Primas de México	Mina Pit V (1994)	Jaltipán, Veracruz.
	Mina Otilio (1997)	Zacatlán, Puebla.
Grupo Peñoles	Cuale	Talpa de Allende, Jalisco.
	Unidad minera Sultepec	Sultepec, Estado de México.
	Unidad la Minita	Coalcomán, Michoacán.
HOLCIM-APASCO	Cantera Cuautlapan	Ixtaczoquitlan, Veracruz
LUISMIN	Tajo San José	Colón, Querétaro.

El Grupo Peñoles ha realizado trabajos de restauración en el tajo "la minita", en Coalcomán, Michoacán. El plan de cierre se realizó con un año de anticipación y consistió en el desalojo y desmantelamiento de la planta de beneficio¹, en la restauración del lugar y en la prevención de riesgos para la comunidad (Macías y Vázquez, 1995).

En lo que se refiere a la restauración, se formaron terrazas en los taludes y tepetateras utilizando calizas, después de lo cual, se cubrieron con 102'000 ton de "suelo vegetal" para reforestar. Al parecer, sin ningún criterio particular de uso posterior del suelo, fueron sembradas 60 ha con pasto y se plantaron especies conocidas en la región como parota, guamuchil, tabachin, rosa morada, cedros y primavera.

En la presa de jales, se realizaron obras para evitar daños provocados por tormentas y lluvias torrenciales y estabilización contra movimientos sísmicos; así mismo, para evitar la contaminación del agua del arroyo, se cubrió la superficie de la presa con lutitas y se formó una pendiente hacia el centro del vertedor. En el vaso y bordos de la presa, fue sembrado pasto y plantaron árboles.

En el llamado vaso del tajo (48.75 Ha), se formó un lago artificial principalmente con el agua de lluvia y con agua de filtraciones que alcanzó una profundidad de 35 metros y un volumen de 1'600'000 m³, dentro del cual se sembraron peces de

¹ En "la minita", se explotaba Pb, Zn, Ag, y barita.

bagre y tilapia. El plan de cierre de "la minita", no integró las características socioeconómicas de la población local y no justifica la creación del lago artificial y la introducción de peces, tampoco se incluye la asesoría para que la explotación del bagre y tilapia sea exitosa.

Otras acciones pero de carácter social, fueron la donación de una primaria y de un hospital equipado con lo indispensable, además del análisis de la concentración de metales (Pb y Zn) en la sangre de los pobladores vecinos. El costo por concepto de cierre ascendió en 1995 a \$8'070'000.

De acuerdo con reportes del Grupo Peñoles, también se han restaurado las minas subterráneas ya cerradas La Negra en Querétaro, La Encantada en Coahuila y Rey de Plata en Guerrero, así como del tajo de la Unidad minera Sultepec. La restauración de las minas Cuale y Sultepec de Peñoles ha tomado entre 7 y 8 años con una inversión total de 1.3 y 2 millones de dólares respectivamente.

LUISMIN, también ha elaborado proyectos de restauración ambiental. En el Tajo San José ubicado en el municipio de Colón en Querétaro se extraía oro y plata desde 1760. Con objeto de cumplir con la condicionante del Instituto Nacional de Ecología (INE)², esta empresa evaluó dos alternativas de restauración ambiental. La primera consistió en regresar a la excavación (tajo) el material estéril removido, la restauración del suelo y la reforestación, y la segunda en la estabilización de los taludes, la restauración de suelos, reforestación y restauración de una pileta, en 9 Ha que comprenden el área afectada por el tajo y el área circunvecina.

Los elementos que se tomaron en cuenta fueron la geología del tajo, la disponibilidad del agua y la relación con subsecuentes explotaciones subterráneas. La conclusión de la primera opción (que fue la solicitada por el INE), es que el relleno del tajo obstaculizaría el acceso a 155'000 ton de reservas minerales y que impediría explotarlos, por lo cual no es viable el relleno. La conclusión de la segunda opción (no relleno) fue que es más factible porque permitiría el acceso a las reservas por minado subterráneo y porque las diferencias en tiempo y costos la favorecen (Tabla 4.2). El 70% de los costos de la primera opción resultan del retorno del material estéril al tajo y del empareje, lo cual confirma el motivo por el que los esfuerzos de restauración se centran en las áreas de residuos.

En cada una de las alternativas generadas por la empresa, se tomaron elementos limitados para planear la restauración ambiental y no se consideraron las características socioeconómicas de la población local. El tiempo que contemplaron para la plantación no incluye el requerido para el mantenimiento y monitoreo, tampoco se menciona cuáles serán los indicadores del éxito en la restauración.

² La condicionante del INE fue: " al término de la vida útil de la mina a cielo abierto, el tajo deberá ser rellenado con el estéril generado durante la etapa de explotación, realizando las actividades correspondientes tendientes a la recuperación del área".

Tabla. 4.2. Comparación de los costos de restauración ambiental en el Tajo San José. Tomado de Borja y Sánchez, 1995

Alternativa	Tiempo (meses)	Costo (miles de pesos)
1 Relleno del tajo	18	6'258
2 No relleno del tajo	10	980

Las alternativas ambientales que se generaron buscaban minimizar el daño ambiental causado por las operaciones, por lo que almacenaron el suelo del despalme y reforestaron con especies de la región. Estas acciones se realizaron sin perseguir un uso del suelo en particular que atendiera a las características ambientales y socioeconómicas del lugar, sin embargo, resalta el hecho de poder establecer más de un escenario de restauración antes del cierre de la mina. Cuando existen políticas establecidas sobre los usos nuevos en minas donde se los yacimientos se agotaron, se han convertido en campos agrícolas o en lagos (Atkinson y Cairns, 1994; Miao y Marrs, 2000).

2 UNA PLANEACIÓN INTEGRAL

Como se describió arriba, en México las experiencias en restauración de minas superficiales han sido recientes y escasas. Además, en los casos en que se ha intentado restaurar, ha predominado una visión parcial que sólo ha considerado algunos de los problemas ambientales, y ha dejado de lado las repercusiones sociales y económicas derivadas de los impactos ambientales generados por la apertura y el término de las operaciones mineras.

Usualmente, en las Manifestaciones de Impacto Ambiental se declara la situación ambiental anterior al minado con la intención de tratar de imitar el ecosistema previo a la extracción y mitigar los impactos y; aunque también se describen aspectos sociales, es raro que este tipo de información se integre para tomarlos como referencia y analizar opciones de uso en la zona acorde con las posibilidades técnicas y las circunstancias ecológicas, sociales y económicas del sitio. La integración de la información permitiría elaborar planes que pretendan devolver las condiciones necesarias para recuperar la productividad de las zonas degradadas así como prevenir y mitigar impactos, de tal forma que sean exitosos desde el punto de vista ambiental, social y económico. De esta manera, los impactos ambientales y sociales que se originan debido a la temporalidad de la minería, se pueden atender y apuntar hacia comunidades sustentables.

Para hacer una planeación integral se requiere combinar la formulación y definición del problema con la identificación de los datos necesarios para analizar y solucionarlo (Holmberg, 1983). La integración dependerá en buena medida de la adquisición y análisis de la información relativa al sistema ambiental, social y sobre las características del proyecto.

La planeación de las medidas de restauración que corresponden al cerrar una mina superficial deben hacerse antes de iniciar las operaciones. Entre las ventajas de una aproximación de restauración integrada y anticipada de las operaciones de minado son de considerar las siguientes:

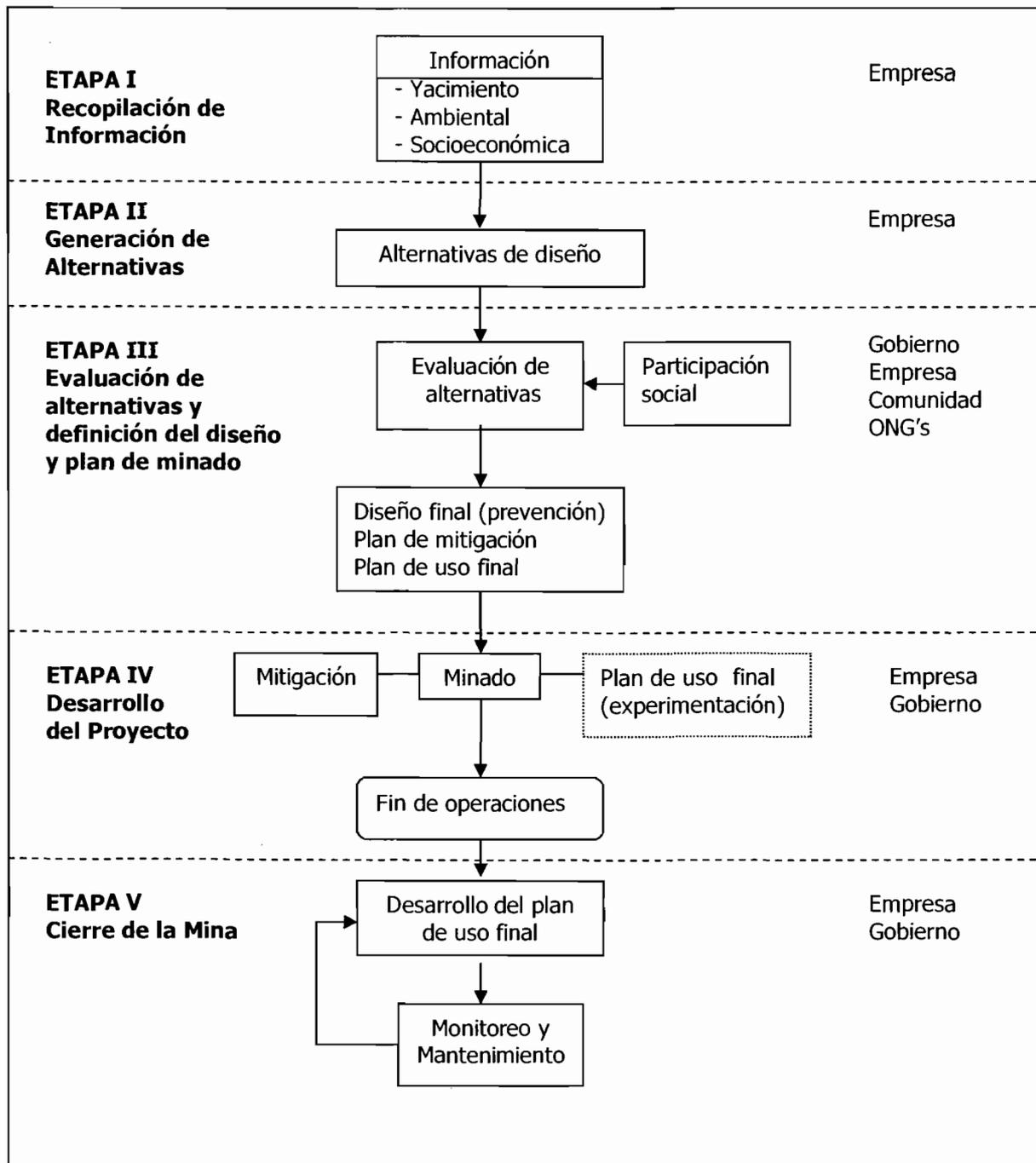
1. Después de la apertura de una mina pueden establecerse nuevos usos como consecuencia de las modificaciones de esta actividad, es decir, de acuerdo con las circunstancias, un nuevo uso puede competir con el anterior por diversos motivos.
2. Muchos proyectos potenciales de mejoramiento de la tierra nunca pasarán del estado de planeación debido a los costos relativamente altos de movimiento y transportación de materiales, los procesos y equipos necesarios para realizar los proyectos, cuando las operaciones de minado se realizaron sin planeación precedente. No obstante, con un plan de restauración previo, es posible anticipar y mejorar los movimientos necesarios para alcanzar los objetivos del plan, lo cual ayuda a reducir los costos.
3. Cuando se planea hacer una mina, existe interés por parte de los propietarios, vecinos del lugar, autoridades locales y regionales, grupos ambientalistas etc. La participación y el diálogo de las autoridades, la empresa y la sociedad son de suma importancia antes de tomar decisiones dado que éstas afectarán la calidad de vida de los habitantes. Para hacer que el proceso de planeación de restauración y/o definición del uso final sea logrado, cada parte debe tener en cuenta los alcances y limitaciones de los otros.
4. Las minas se venden, compran o fusionan y las administraciones cambian. Al contar con un plan elaborado desde el principio, permanecen las metas de cómo quedará la mina al finalizar sus operaciones, y de esta forma la planeación será independiente de las personas que conforma la nueva administración.

La figura 4.1 esquematiza de manera general los elementos necesarios a considerar y las interacciones entre ellos para definir un plan de restauración acorde con las condiciones locales. El esquema se desglosará enseguida:

2.1 Etapa I: Adquisición de Datos

La adquisición de datos es la base para desarrollar diseñar y planear el minado acorde con los atributos ambientales, el contexto socioeconómico y las expectativas económicas de las empresas. Las características del proyecto y del medio donde se plantea desarrollarlo, determinan cuáles serán los impactos ambientales por efecto de la extracción de minerales. Un buen análisis de los datos, es lo que establece la utilidad de los datos recopilados.

Figura 4.1. Esquema integral de restauración de minas superficiales.



2.1.1 Información del Proyecto

Uno de los cambios producidos en la industria minera debido a la protección ambiental, es la prolongación de las etapas de planeación y ejecución de proyectos, lo cual se manifiesta en un incremento en el costo total del proyecto, y en ocasiones en una menor rentabilidad de la inversión (Arroyo, 1995). No

obstante, la mayoría de las veces, las empresas mineras obtienen recursos de las instituciones financieras (como el Banco Mundial), las cuales piden condiciones ambientales que deben cumplirse antes de recibir la aprobación del préstamo solicitado.

El cumplimiento de normas y políticas ambientales es parte de la actividad de las empresas mineras en el mundo, pues constituyen leyes que deben cumplirse para poder acceder a los minerales. Además, la presión que ejercen las instituciones financieras y los bloques comerciales a través de penalizaciones, hace que el cuidado ambiental sea una necesidad de la minería para hacer negocios.

Se conoce poco sobre el monto que destinan las empresas mineras en México para la protección ambiental, sin embargo, algunas extrapolaciones indican que la inversión ambiental de la minería se encuentra entre el 0.5 y 1.5% del valor de las ventas anuales, que en comparación con el 3 a 5% que destinan las empresas en Europa y Estados Unidos, es muy menor (Arroyo, 1995). Dichas cantidades se destinan a la compra de equipos ambientales, la restauración del área afectada, protección ambiental durante las operaciones y el cuidado de ecosistemas antes de iniciar las operaciones.

Usualmente, los procesos de planeación y diseño de minas superficiales en México, sólo han considerado como parte de los aspectos ambientales, el manejo de residuos. Este planteamiento deja fuera otras operaciones y requisitos necesarios para prevenir y mitigar impactos ambientales, y llevar a cabo la restauración de la mina al finalizar la explotación. La consecuencia de la omisión, es que no se consideran los costos por conceptos ambientales en los cálculos económicos de las empresas desde el inicio de la planeación. Esto resulta en un gasto no planeado cuando al final de las operaciones, que coincide con la disminución de los ingresos, las empresas tienen que asumir las responsabilidades ambientales. Por lo que, bajo estas condiciones, se restringe su capacidad de cumplir los compromisos ambientales.

En cambio, cuando el diseño y planeación de las minas contabilizan los costos por conceptos ambientales se puede ahorrar en este aspecto. Por ejemplo, en la definición de los límites de un tajo se determina no sólo la cantidad de mena a extraer sino que al mismo tiempo se conoce el volumen de roca estéril o residuos producidos que requieren un tratamiento ambiental. La extracción y movimiento de ambos materiales implican costos que al evaluarse es posible encontrar un óptimo económico y ambiental (Ramírez y Peralta, 2003).

La protección ambiental (prevención, mitigación, restauración) conviene incluirla desde el surgimiento del plan. Como parte del desarrollo de todo proyecto se realizan estudios de factibilidad, los cuales parten de la información de los factores de planeación y diseño (geográficos, geológicos, ingeniería, seguridad, política de

la empresa) para hacer evaluaciones económicas y determinar los detalles de las minas (profundidad, extensión y ubicación, forma y tamaño, ángulos de talud, producción y ubicación de estéril etc.), y operaciones de extracción (desmante, despirme, barrenación, voladura, carga y acarreo, y disposición de residuos). En éstos estudios, los factores deben tener una orientación no sólo productiva, sino ambiental para poder incluir los costos asociados por dicho concepto.

Así mismo, la estimación sobre el tamaño que al final tendrá la mina es importante. Hasta cierto punto, la adición de tamaño (superficie) de una parcela de tierra tiende a incrementar su capacidad de producir ingresos y por lo tanto, su valor. Así, el uso que pueda establecerse al final de la explotación también está influenciado por el tamaño.

La inclusión de aspectos ambientales y sociales desde el inicio en la planeación y diseño permitirá además de ahorrar tiempo y dinero, programar con anticipación los costos para cumplir con los compromisos ambientales y, para establecer o estimar el monto de los seguros o garantías que solicita la autoridad ambiental.

2.1.2 Información ambiental

La información que recopilan las empresas para hacer los estudios de factibilidad y presentar las Manifestaciones de Impacto Ambiental (MIA) coincide en algunos casos con la necesaria para elaborar un plan de restauración, que aquí se define por las características ambientales y socioeconómicas para establecer un estado final deseable.

El enfoque que los factores de diseño y planeación han tenido es meramente productivo, sin embargo, pueden aprovecharse y orientarse hacia los aspectos ambientales e incluir otros. La descripción del medio es fundamental para identificar los impactos que el proyecto puede producir y para hacer una planeación adecuada que los considere. La tabla 4.3 presenta los factores que influyen en el plan de prevención, mitigación y de restauración (uso final).

Tabla 4.3. Información ambiental requerida en un proyecto de restauración.

Factor	Información requerida
Topografía	<ul style="list-style-type: none"> • Relieve • Pendientes/ Inclinación • Altitud • Exposiciones
Clima	<ul style="list-style-type: none"> • Distribución de la precipitación en el año • Patrones de viento • Humedad • Temperatura • Tipo de clima
Hidrología Superficial	<ul style="list-style-type: none"> • Definición de los flujos básicos • Patrones de drenaje superficial • Cantidad y calidad de escorrentía
Hidrología	<ul style="list-style-type: none"> • Plano freático

Factor	Información requerida
subterránea	<ul style="list-style-type: none"> • Acuíferos • Cantidad y calidad del flujo de agua subterránea • Potencial de recarga
Geología	<ul style="list-style-type: none"> • Estratigrafía • Estructura • Geomorfología • Naturaleza química de la roca estéril
Suelos	<ul style="list-style-type: none"> • Textura • Estructura • Densidad • Contenido de materia orgánica • Contenido de humedad • Permeabilidad • Capacidad de expansión y contracción • Profundidad • Erodabilidad • Pendiente • Horizonte orgánico • pH
Ecosistemas terrestres	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterización de la vegetación. • Identificación de necesidades de supervivencia del tipo de vegetación. • Cultivos. • Usos de la vegetación. • Caracterización de la fauna. • Identificación de especies dentro de alguna categoría de riesgo.
Ecosistemas acuáticos	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de la fauna acuática y asociada. • Identificación de la vegetación acuática. • Caracterización, uso, y necesidades de sobrevivencia del sistema de vida acuático. • Identificación de especies dentro de alguna categoría de riesgo.

El relieve topográfico es la diferencia en elevación entre los puntos altos y bajos en un sitio o región específicos (Panizza, 1996). Las relaciones de éste con el clima, suelos, hidrología y vegetación son importantes dentro del plan de minado y también de la restauración debido a que la topografía influye en la selección del tipo de minado y equipo; además, los terrenos accidentados también influyen los métodos de revegetación y limitan las alternativas de uso futuro del suelo. Por ejemplo, en terrenos muy inclinados es difícil y costoso establecer una cubierta vegetal y se promueve la erosión; si el área puede ser aplanada, la agricultura es una opción de uso.

La pendiente o gradiente afecta la escorrentía y el drenaje, por lo tanto el contenido de agua en el suelo (Ramani *et al.*, 1990; Panizza, 1996). La inclinación también determina la estabilidad y facilidad para que la vegetación se establezca, cuanto más inclinado, más difícil es el desarrollo del suelo y de la vegetación. Pero también la inclinación determina la estabilidad de los apilamientos de residuos.

Así mismo, la orientación (la dirección de la pendiente con respecto a los puntos cardinales) determina la cantidad de radiación que recibe una ladera y en consecuencia modifica la temperatura del suelo y aire, así como el contenido de humedad. Como resultado, la orientación influye en la composición de la

vegetación y la define. Muchos proyectos de restauración fallan debido a que los diseños topográficos son incapaces de sostener ecosistemas funcionales y/o debido a que la salida de sedimentos genera impactos sobre los ecosistemas alrededor del área perturbada (Hancock, 2004), por lo tanto, la definición de la topografía y la simulación de la dinámica en el movimiento de los sedimentos es un paso básico para el diseño de las minas y para el establecimiento de la vegetación a largo plazo.

La altitud tiene un pronunciado efecto en las características climáticas de un sitio. A mayor altitud la temperatura es menor como resultado de la menor densidad de la atmósfera para absorber y retener calor. Sin embargo, el descenso de la temperatura es modificado en gran parte por la configuración de la tierra y por las corrientes de aire. A esta característica también responde la vegetación, y por lo tanto el tipo de cubierta que puede establecerse (agrícola, silvícola, ganadera, etc).

Las características del clima en el sitio del proyecto influyen no sólo en las operaciones de una mina sino en la prevención, mitigación y en el plan de restauración. El conocimiento sobre el clima permitirá hacer planes de trabajo de acuerdo a la fenología y fisiología de las poblaciones a introducir para favorecer su establecimiento. Así mismo, el clima es determinante de la ubicación y manejo de los residuos como las rocas estériles productoras de drenaje ácido (DA); en lugares secos es menos probable el desarrollo de DA que en regiones húmedas. Así, las posibilidades de uso en la zona se circunscriben también a las características del clima.

Los sistemas de drenaje son un componente complejo del ambiente y uno que puede influenciar de gran forma la sustentabilidad del uso final en el sitio. Es necesario conocer la calidad y movimiento del agua en el área de la mina y sus modificaciones durante el minado. Un análisis del sistema de drenaje existente requiere al menos algún entendimiento de la definición del curso del agua, el tipo de patrón de drenaje, pendientes, formas del relieve y el patrón de flujo del agua subterránea. El conocimiento sobre la hidrología del lugar es básico para prevenir impactos ambientales a causa del diseño de las minas, como erosión y la producción de sedimentos que asolvan los cuerpos de agua. La escala del estudio hidrológico debiera considerar las cuencas.

Así mismo, el conocimiento sobre el plano freático, acuíferos, cantidad y calidad del flujo de agua subterránea permite conocer sobre los riesgos de contaminación, la necesidad de hacer pozos para el desagüe de la mina, y el destino de esta agua (por ejemplo, hacia otros usuarios). Las modificaciones en el drenaje se traducen en problemas de abastecimiento de agua y de su calidad, por lo que es importante conocer el potencial de recarga para determinar la recuperación del acuífero y promover las acciones necesarias para recargarlos, sobre todo en zonas áridas o semiáridas donde el agua es un recurso escaso. Además, la identificación de las

fuentes de agua, es importante para planear la siembra o plantación de las especies seleccionadas.

Los aspectos geológicos del o los minerales presentes (posición, profundidad, grosor, estratigrafía, etc.) son la base para establecer esquemas alternativos de minado y uso final, incluyendo la estabilidad de los taludes. La naturaleza de las rocas que conforman el estéril, especialmente de aquellas cuyos minerales contengan elementos tales como el azufre, que tienen impactos ambientales potenciales, deben ser estudiados. La caracterización de las rocas que conforman cada estrato puede ser empleada para planear la secuencia un minado con el fin de confinar rocas cuyos minerales pueden generar drenaje ácido (DA).

La mejor estrategia para minimizar el DA es a través del análisis del potencial de generación en las rocas, la cuantificación del tonelaje, y el desarrollo de un plan de minado que incluya esta información. Las pruebas geoquímicas estáticas miden el balance entre el potencial de generación de ácido y la capacidad neutralizadora del ácido. Las pruebas cinéticas simulan en el tiempo, la velocidad del proceso de oxidación, los periodos de tiempo requeridos para el inicio de generación del DA y la efectividad de las técnicas de control (Peralta y Ramírez, 2003). Estas pruebas pueden llevarse a cabo desde la etapa de exploración, pues mediante la barrenación a diamante se identifican los tipos de mineral y las leyes asociadas, los límites del yacimiento y las características estructurales. Así, uno de los objetivos de la exploración debiera ser la identificación del potencial de generación de DA.

Las evaluaciones acerca de la estructura y estratigrafía que afectan las condiciones hidrológicas son críticas para un efectivo minado y restauración. Tales condiciones, puede imponer limitaciones sobre los usos potenciales y pueden fijar prácticas especiales por la disponibilidad de agua existente.

Un elemento esencial en la restauración y uso final de la mina es el suelo. La capa orgánica (*topsoil*) es un medio de crecimiento de la vegetación que ha probado catalizar el crecimiento de la vegetación, por lo cual debe caracterizarse y preservar sus parámetros físicos y químicos (Ghose, 2001). A través del análisis de estos, se determina su aptitud. Cuando los suelos originales son muy pobres en nutrientes y no poseen las características adecuadas para sostener una cubierta vegetal, entonces se busca mejorar sus propiedades o adicionar sustratos alternativos (Day *et al.*, 1986). En otros casos, se ha transferido suelo de lugares cercanos hacia el área degradada para inducir la asociación entre microorganismos (como los hongos micorrízicos) y las plantas a fin de promover un establecimiento autosostenible y reducir costos extras como el uso de fertilizantes y el mantenimiento (Amaranthus y Perry, 1987; Helm y Carling, 1993)

La minería se desarrolla en muchas ocasiones en áreas silvestres, donde las perturbaciones presentes en los ecosistemas son muy reducidas en comparación

con las que genera la extracción de minerales. Por ello, la eliminación de la cobertura vegetal puede afectar la biodiversidad presente, sobre todo si existen especies bajo alguna categoría de riesgo. Debido a lo anterior, es necesario caracterizar la flora y fauna presentes a fin de identificar las especies y conocer el estado en que se encuentra para establecer las medidas de protección pertinentes. Pero además, sirve para identificar las necesidades ambientales de las especies, y obtener propágulos, todo lo cual es necesario para revegetar.

La utilidad que pueda tener la vegetación en el área es importante para la población local por los beneficios que de ésta pueda obtener, motivo por el cual la permanencia y cuidado se refuerza si las especies útiles se incluyen en la restauración del lugar. La presencia y ubicación de cultivos también debe considerarse para no interferir negativamente con su desarrollo.

Además de la importancia en cuanto a la composición de especies, la vegetación también cumple con funciones en los ecosistemas como el control de la erosión y conservación del suelo, la purificación del aire y agua, la moderación de los extremos de temperatura etc. (Ehrlich y Mooney, 1986; Ehrlich y Ehrlich, 1992). El establecimiento de la cobertura vegetal apropiada es el inicio para restablecer las funciones que cumple en el área.

La caracterización de los ecosistemas acuáticos es importante al momento de definir las obras de desviación del curso del agua, en conservar su calidad (parámetros físicos y químicos) a pesar de las descargas que se realicen. También es importante conocer la disponibilidad de volumen de agua que tendrán estos ecosistemas por efecto de la extracción en la mina.

La caracterización del agua (superficial y subterránea), del suelo, de los ecosistemas terrestres y acuáticos, son útiles para conocer el estado inicial y considerarlos como mediciones de línea base. Con esto, es posible hacer un monitoreo para detectar los problemas que puedan ocurrir por efecto de las actividades de la mina y tomar las medidas pertinentes de corrección. Al mismo tiempo, las mediciones serán útiles para hacer una evaluación al final de las operaciones y ser indicadores de sustentabilidad.

2.1.3 Información Socioeconómica

El fin de las operaciones mineras repercute más seriamente a las comunidades mineras, es decir, aquellas en la cual la provisión de empleos directos o de otro tipo de impacto se originan en ésta actividad.

Las comunidades mineras varían en términos de cultura, localización geográfica y la actitud colectiva acerca del desarrollo del proyecto minero. Su caracterización contextualiza y anticipa cuáles serán los impactos sociales durante todo el desarrollo del proyecto, pero también dan un panorama sobre las alternativas

económicas que podrían desarrollarse cuando termine la explotación y considerarlo para definir la meta de la restauración.

De no contemplar alternativas productivas en la zona una vez que finaliza la vida las minas, las comunidades pueden padecer las consecuencias económicas y sociales no sostenibles. Una comunidad minera sostenible es una en la cual el beneficio neto puede ser obtenido a partir de la introducción de la operación minera hasta más allá de su cierre.

El reto para cualquier compañía minera es el comprometerse con la comunidad para dejar una herencia de bienestar para la comunidad al finalizar las operaciones de la mina, evitando la degradación ambiental y dislocación social (Veiga, *et al.*, 2000); el acercamiento en vez de la confrontación, podría resultar beneficiosa para ambas partes. La restauración de las minas ha probado incrementar la calidad de vida de una población local en Alemania (Terrazas, 2001), lo cual demuestra que no sólo es necesario sino posible hacer restauración en áreas degradadas.

Los proyectos de restauración que no consideren soluciones diseñadas a la medida de cada situación y necesidades de las comunidades pueden fracasar y significar un desperdicio de recursos económicos y de tiempo. Por tales motivos, en la caracterización socioeconómica es necesario considerar los puntos listados en la tabla 4.4

Tabla 4.4. Información socioeconómica requerida en un proyecto de restauración de minas.

Factor	Información requerida
Ubicación y accesibilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Distancia • Tiempo • Redes de transporte
Tipos de propiedad	<ul style="list-style-type: none"> • Comunal • Ejidal • Federal • Privado
Uso de suelo (Tipo, intensidad y valor de uso)	<ul style="list-style-type: none"> • Actual • Histórico (zonas arqueológicas) • Ordenamiento del territorio Agrícola • Silvícola • Conservación • Agropecuario • Recreativo • Residencial • Industrial • Comercial
Características de la población	<ul style="list-style-type: none"> • Población total • Distribución de la población • Distribución de edades • Densidad • Ocupaciones • Nivel escolar • Ingreso promedio • Servicios públicos

La ubicación del proyecto, establece la proximidad a centros de población y a las facilidades de desarrollo tales como un sistema de transporte o planta de energía eléctrica. Las ventajas por la posición del proyecto pueden determinar su establecimiento pero, la localización de éste puede determinar que medidas se necesitan durante y al final de las operaciones. Si un poblado esta cercano a la ubicación de la mina, se incrementa la necesidad de mitigar los impactos ambientales y de dar un uso sostenible a la mina al final de las operaciones. Por otro lado, existe la posibilidad que bajo esta circunstancia el proyecto no pueda desarrollarse debido a las presiones sociales.

La accesibilidad a un sitio esta en función de los caminos y carreteras disponibles que puedan introducir bienes y servicios. Las minas por lo general se localizan en sitios alejados y que en origen estaban desprovistos de servicios. La minería los ha introducido y ha dado mayor accesibilidad a los sitios como consecuencia de las necesidades de la operación, tales como electricidad, líneas telefónicas y carreteras. Esta infraestructura puede aprovecharse para nuevos usos en las zonas que rodean la extracción minera.

Pensando en el fin de las operaciones, la forma de la parcela puede determinar los usos posibles para los cuales puede ser elegido y por lo tanto su capacidad de producir ingresos. Mientras es posible usar las formas irregulares para los propósitos de vivienda, la regularidad es usualmente deseable para usos agrícolas o industriales. La forma del sitio esta relacionada también al tipo de sistema de minado usado.

La situación sobre el uso de suelo no sólo en la parcela sino en los alrededores, particularmente con relación al tipo e intensidad de uso, y el comportamiento demográfico tienen una influencia fuerte sobre la sustentabilidad de los terrenos de la mina para soportar varias actividades. El uso final de la mina debería tomar en cuenta las tendencias y patrones de crecimiento de la población en relación con el tiempo que perduren las operaciones de las minas. En general, el uso adoptado en cualquier sitio específico tendría que ser compatible con los usos próximos en términos del panorama, ruido, rutas de acceso, áreas naturales protegidas.

La propiedad de la tierra superficial y de los recursos minerales es una fuente potencial de conflicto entre las partes. A menudo, los derechos o concesiones para extraer minerales (subsuelo) es contraproducente a los intereses de los dueños de la tierra (suelo), por lo cual debe tenerse en cuenta a los dueños al momento de diseñar un plan de uso final que sea aceptable por las partes.

Las características de la población local son factores clave en determinar la sustentabilidad de la tierra; por ejemplo, el crecimiento de la población es el factor que está detrás del cambio del uso de suelo. Para que un nuevo uso de suelo sea

viable, debe existir algún crecimiento en el área o la proximidad a un centro de población que requiera servicios o productos.

Es de gran importancia caracterizar las ocupaciones y nivel de escolaridad de la población local que está relacionada con la apertura de la mina. Las restricciones en el desarrollo de otras actividades productivas (ganadería, silvicultura, agricultura) debidas a la degradación ambiental disminuyen las alternativas de trabajo al momento del cierre, especialmente en las zonas aisladas en las que generalmente se desarrolla la minería. Este cambio de uso de suelo implica cambio en las actividades en las cuales la población se había desarrollado y es posible que no esté capacitada para ejercer una nueva. Ante esta situación, se elige una que sea compatible con las habilidades de la población o se crean programas de capacitación para la nueva actividad o uso.

La presencia de indicadores de la calidad de vida antes, durante el desarrollo del proyecto y después del fin de operaciones será de gran importancia para evaluar los efectos sociales de la minería en la zona. Además, es posible que se incorpore algún organismo del gobierno encargado del desarrollo social para regular y cooperar en el aspecto social para lograr un plan de restauración que sea sustentable.

2.2 Etapa II: Generación de alternativas de diseño.

En el Reglamento de la LGEEPA en materia de evaluación de impacto ambiental (EIA) se considera de manera secundaria, dentro del contenido de una Manifestación de impacto ambiental (MIA) a la evaluación de alternativas. Sin embargo, esta debiera ser una parte importante de la EIA puesto que además del carácter preventivo de este instrumento, la EIA es un procedimiento optimizador (Martín, 1999), es decir, un medio para minimizar los impactos al ambiente que al mismo tiempo permita alcanzar los objetivos planteados en un proyecto. Para lograr lo anterior, se necesitan alternativas (modificaciones en el proyecto o diseño) que comparar.

Con el proceso de generación de alternativas se puede evitar la imposición de rectificaciones posteriores por la autoridad ambiental, lo cual consumen tiempo y dinero. La integración y análisis de la información ambiental y social, en conjunto con las características del yacimiento (extensión, profundidad, ángulo y forma, distribución de la ley) permitirá generar opciones de diseño para prevenir y mitigar impactos ambientales, así como planear la restauración desde el inicio y que obedezca a la extracción óptima del yacimiento desde el punto de vista económico, ambiental y social.

En cada una de las características del diseño de una mina, se deben considerar los estudios e información recabada en la etapa I (Tabla 4.5). Los objetivos que

persiguen en conjunto los estudios para cada característica de la mina, pretenden identificar a tiempo los problemas ambientales y sociales que se pueden desprender a consecuencia del diseño, con el fin de prevenir y mitigar sus impactos. Durante esta etapa, las medidas propuestas de prevención, o mitigación deben considerar su factibilidad técnica, es decir, que lo planteado pueda ejecutarse porque existe la tecnología o los medios necesarios; de lo contrario, no podrá realizarse (Fig. 4.2).

Así mismo, las alternativas consideradas deben partir de una apreciación preliminar de cuáles pueden ser los impactos principales del proyecto, de tal forma que al adoptarlas, la mejora ambiental o disminución de los impactos sea notable. Al mismo tiempo, deben considerarse los niveles de incertidumbre propios de cada alternativa, o sea, convendría tener en cuenta las alternativas que *a priori* suponen mayor certeza en cuanto a sus efectos ambientales a fin de contrastarlas con otras de mayor incertidumbre.

Tabla 4.5 Propósitos de los estudios ambientales y sociales en el diseño de minas superficiales.

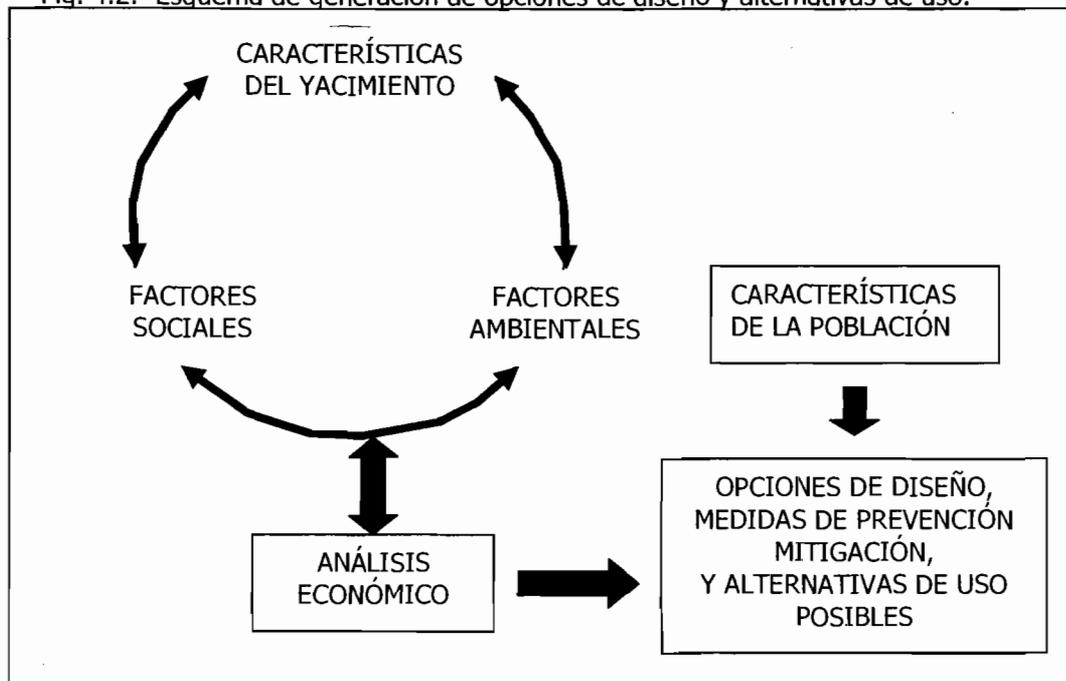
DISEÑO DE LA MINA	ESTUDIOS		OBJETIVOS
Ubicación y extensión	Ambientales	Estudio de la vegetación y fauna Estudio del suelo Estudio hidrológico	Identificar la vegetación y especies bajo categoría de riesgo. Preservar especies bajo riesgo. Mitigar interferencias de las obras con la vegetación y fauna circundante. Minimizar el área a desmontar. Caracterizar el suelo y preservar sus propiedades para la revegetación Mitigar o prevenir impactos en cuerpos de agua superficiales.
	Sociales	Ordenamiento del territorio o usos presentes en la zona Tipos de propiedad Accesibilidad	Evitar o minimizar interferencias negativas con los usos que rodean al proyecto. Generar acuerdos con los dueños de las áreas circundantes con el proyecto. Minimizar impactos ambientales y sociales debido a la construcción de rutas de acceso al proyecto y a la extensión final de la mina.
Profundidad	Estudio geológico Estudio geoquímico Estudio hidrológico		Determinar las características geoquímicas de las rocas que rodean al yacimiento para conocer el riesgo de producción de drenaje ácido (DA) y proteger la calidad y cantidad del agua del acuífero.
Ángulos de talud	Estudio geológico Estudio hidrológico		Estabilizar las masas rocosas y conservar la calidad del agua canalizada hacia fuera de los tajos.
Producción de estéril	Estudio geoquímico Estudio geológico		Cuantificar el volumen de roca estéril, su estratificación y determinar el potencial de generación de drenaje ácido.

DISEÑO DE LA MINA	ESTUDIOS		OBJETIVOS
Ubicación del estéril	Ambientales	Estudio de la vegetación Estudio del suelo Estudio geoquímico Estudio geológico Estudio geomorfológico Estudio hidrológico	Identificar y prevenir daños en las especies bajo riesgo. Mitigar interferencias de las obras con la vegetación circundante. Minimizar el área a desmontar. Preservar las características del suelo para revegetar. Determinar y prevenir la generación de DA. Prevenir infiltraciones de DA al acuífero. Evitar flujos del estéril hacia cuerpos de agua superficiales.
	Sociales	Ordenamiento del territorio o usos presentes en la zona Tipos de propiedad Accesibilidad	Ubicar las rocas del estéril donde las perturbaciones que ocasione sean nulas o mínimas con los usos cercanos al proyecto y de acuerdo con los propietarios. Minimizar impactos ambientales y sociales debido a la construcción de caminos para transportar las rocas.
Ubicación y diseño de caminos de acarreo	Ambientales	Estudios del clima Estudio de vegetación y fauna	Identificar la vegetación y especies bajo categoría de riesgo. Preservar las especies bajo riesgo. Mitigar interferencias de las obras con la vegetación y fauna circundante. Minimizar el área a desmontar.
	Sociales	Ordenamiento del territorio o usos presentes en la zona Tipos de propiedad Accesibilidad	Minimizar impactos ambientales y sociales debido a la construcción de caminos para transportar las rocas y la mena.
Desviación de cuerpos de agua	Ambientales	Estudio hidrológico Estudio de ecosistemas acuáticos	Mitigar el impacto sobre los cuerpos de agua presentes en el área. Prevenir y/o mitigar impactos en los ecosistemas acuáticos.
	Sociales	Ordenamiento del territorio o usos presentes en la zona Tipos de propiedad Accesibilidad	Definir los nuevos cursos del agua necesarios para el proyecto de acuerdo con los accesos y los usos vecinos, y de conformidad con los dueños de las tierras que ocupan los cuerpos de agua.
Construcción de pozos	Ambientales	Estudio hidrológico (subterráneo) Estudio vegetación	Prevenir la contaminación del acuífero. Mitigar el impacto en la vegetación.
	Sociales	Ordenamiento del territorio o usos presentes en la zona	Asegurar el volumen de agua requerido por otros usuarios del recurso durante el desarrollo de proyecto y al finalizar.

DISEÑO DE LA MINA	ESTUDIOS		OBJETIVOS
Control de agua pluvial	Ambientales	Estudio hidrológico (superficial). Estudio ecosistemas acuáticos.	Mantener la calidad del agua de cuerpos receptores. Conservar especies acuáticas.
	Sociales	Ordenamiento del territorio o usos presentes en la zona Tipos de propiedad	Construir las obras necesarias de descarga de agua pluvial de acuerdo con las necesidades y usos presentes en la zona.

Además de los factores ambientales y sociales de diseño y planeación, existen otros de carácter económico y de ingeniería que circunscriben a estos. Normalmente, los estudios de factibilidad no han considerado dentro de sus costos a la protección ambiental, sin embargo, al ampliar las consideraciones ambientales durante el diseño (Tabla 4.5), pueden contabilizarse y ser parte del análisis económico. El reto de la planeación con respecto a la minería superficial es maximizar la producción y mantener la calidad del ambiente más allá de sus operaciones.

Fig. 4.2. Esquema de generación de opciones de diseño y alternativas de uso.



Los factores del diseño y planeación de minas son interdependientes entre si, es decir, el cambio que se haga en uno afecta a los otros (Fig. 4.2). Por ejemplo, una modificación en la selección del sitio de disposición de los residuos influye al

mismo tiempo en la ubicación y diseño de los caminos necesarios para transportar los residuos, y éstos a su vez, determinan las consecuencias socioeconómicas según los usos de suelo presentes en la periferia de las obras.

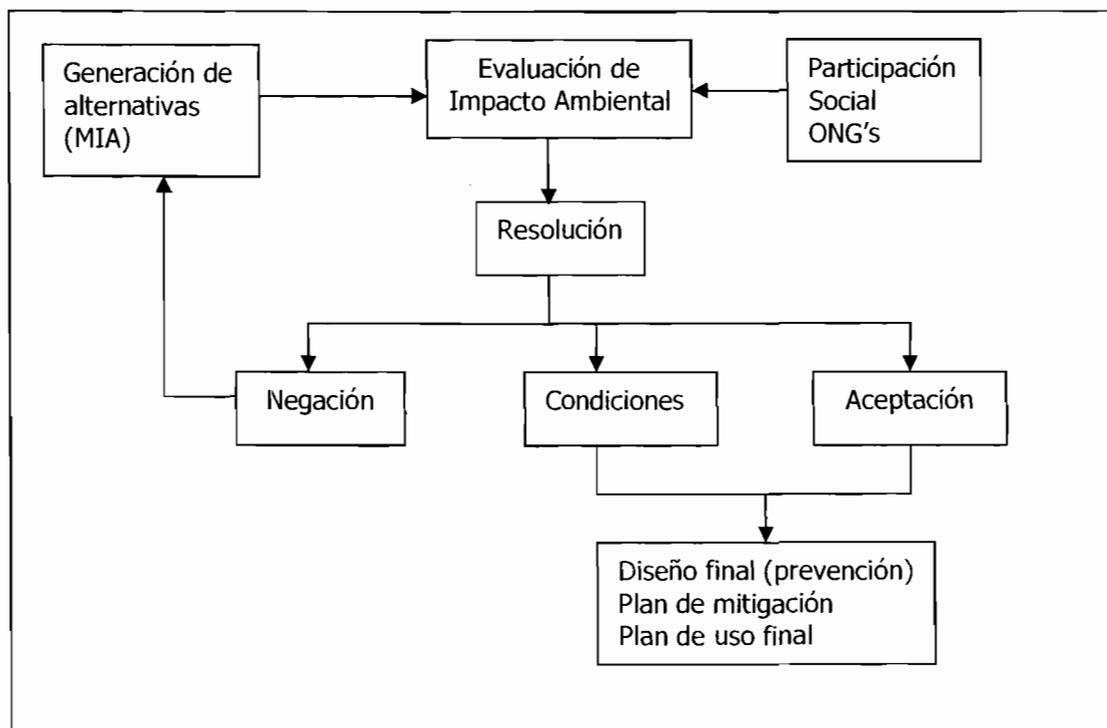
Las opciones de diseño que pueden resultar son muchas, sin embargo, cada una representa diferentes costos para las empresas. El análisis económico permitirá hacer comparaciones entre las opciones y definir cuáles son factibles de llevar a cabo en conformidad con las características de la población.

2.3 Etapa III: Evaluación de las alternativas

Las opciones de diseño generadas en la etapa anterior establecen no sólo las medidas de prevención y mitigación de los impactos ambientales, sino las condiciones o el escenario que resultará al final de las operaciones. Estas proyecciones en conjunto con las características de la población fijan las alternativas de uso posibles y las medidas de mitigación que las empresas pueden delimitar de manera preliminar, y que pueden integrarse a una Manifestación de Impacto Ambiental (MIA).

En el esquema que se presenta en este trabajo, corresponde a la Secretaría de ambiente la etapa de evaluación de las alternativas que expone la empresa dentro de una MIA. El fin de esta etapa es determinar de entre todas las opciones, la alternativa más adecuada para prevenir y mitigar los impactos, así como para establecer un plan de restauración que permita un uso sustentable de las áreas degradadas que satisfaga a las partes (empresa y comunidad) (Fig. 4.3).

Fig. 4.3. Esquema de evaluación de alternativas.



La participación de la sociedad en la toma de decisiones sobre el uso de las tierras después de la degradación es un asunto que les repercute y se vuelve muy importante. Puesto que las comunidades tienen mayor acceso a la información sobre los aspectos críticos ambientales y sociales relacionados con la minería, éstas cada vez más desean ser parte de cómo se toman las decisiones que van a afectar su futuro, por lo tanto la toma de decisiones no debe centrarse. Si durante la planeación hubo consultas o acuerdos de la empresa con las comunidades y/o ONG's, las alternativas que presente tienen por adelantado un consenso, sin embargo, el Reglamento de EIA establece la oportunidad de participación pública para que cualquier persona interesada pueda proponer el establecimiento de medidas de prevención y mitigación en el proyecto, así como las observaciones que considere pertinentes.

La decisión sobre el destino que tendrán las tierras al final de las operaciones de minado debe ser realista para que pueda concretarse, debe disminuir los impactos al ambiente y responder a las necesidades de la comunidad local, al mismo tiempo debería estar acoplado con el plan de minado en tiempo y espacio y satisfacer las expectativas de las empresas mineras.

Al momento de elegir alguna de las opciones y autorizar el proyecto en materia de impacto ambiental, se define el diseño de la mina, y paralelamente un plan de mitigación y de uso final que son los autorizados por la autoridad ambiental para ejecutar.

El propósito del plan de mitigación es contemplar y diseñar las medidas oportunas para aminorar los impactos producidos durante y al final de las operaciones de la mina. Por ejemplo, el control de las emisiones de polvo y de ruido, erosión, contaminación y sedimentación en cuerpos de agua cercanos, entre otros.

El plan de uso final de la mina, tiene como objeto dar una utilidad a la zona y favorecer la sustentabilidad de la zona después de que ha perdido su potencialidad productiva como consecuencia de la degradación por la minería.

2.4 Etapa IV: Desarrollo del Proyecto

Durante el desarrollo del proyecto, se ponen en marcha las medidas de mitigación, y simultáneamente el programa de vigilancia ambiental³, que tiene por objeto: establecer un sistema que asegure el cumplimiento de las indicaciones y medidas de mitigación, detectar y corregir impactos no previstos en el estudio de impacto ambiental y evaluar las predicciones sobre los impactos; así como caracterizar los impactos difíciles de predecir para establecer las medidas pertinentes de mitigación o corrección.

³ El programa de inspección y vigilancia está considerado dentro de la guía de impacto ambiental para el sector minero pero no en el reglamento de la misma materia.

Simultáneamente con el desarrollo del proyecto, es posible según los planes, iniciar con las obras contempladas en el plan de uso final. Esto tiene la ventaja de optimizar tiempo y recursos. Un ejemplo donde puede funcionar es al minar mediante *open cast mining*, pues una programación adecuada de la extracción de la mena y de la colocación de los residuos (roca estéril) puede conducir al relleno, colocación del suelo y revegetación del área perturbada.

Paralelamente a las actividades de extracción y de mitigación, se pueden montar experimentos considerados dentro del plan de uso final. Si bien en otras partes del mundo se han escrito algunos documentos y artículos científicos que pueden guiar la restauración de minas superficiales, el conocimiento sobre las especies nativas de México que pudieran ser útiles en la restauración de éstas áreas y en las condiciones de nuestro país, es muy reducido; por ello, existe la necesidad de realizar ensayos, sobre todo cuando el objetivo es restaurar hacia una zona de conservación o área para la vida silvestre.

Probablemente tome más tiempo experimentar aún cuando se realicen durante la explotación, pero es mejor invertir un poco de tiempo y dinero en averiguar por ejemplo, qué tratamiento resulta mejor y al descubrirlo hacerlo extensivo a toda el área que se requiera con una mayor certeza de que funcionará bien. No obstante lo anterior, tampoco debe despreciarse el conocimiento empírico local ya que también puede ser una herramienta valiosa cuando no hay información de carácter científico. Es posible que dentro de un proyecto de restauración se tenga un mosaico de manejo adaptativo⁴, conocimiento científico y empírico.

En otro orden de ideas, la Secretaría del medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT) puede inspeccionar y vigilar el cumplimiento de las disposiciones en materia de impacto ambiental a través de la Procuraduría Federal de Protección al ambiente (PROFEPA) en el caso de los minerales de competencia federal. Por tanto, los actores de esta etapa son, la empresa que desarrolla los proyectos productivo y ambiental, y el gobierno que realiza la inspección.

2.5 Etapa V: Cierre de la Mina

Al concluir la extracción, la empresa realiza labores de desmantelamiento y en paralelo puede ejecutarse el plan de restauración, en el cual previamente se fijaron las metas (entre ellas el uso final). Dentro del plan debe contemplarse:

1. Justificación del plan (elementos técnicos, ambientales, sociales y legales).
2. Objetivos del plan.

⁴ En un proceso de manejo adaptativo, la planificación, la investigación, el registro sistemático y el ajuste son requeridos para mejorar las políticas y el alcance de los objetivos deseados en un área geográfica definida.

3. Registros de la situación previa al proyecto (mapas topográficos, fotografías panorámicas, estudios de línea base en agua, suelo, vegetación y fauna).
4. Mapa que muestre los usos de suelo alrededor de los terrenos de la mina y que incluya la distribución del o los usos que pretendan llevar a cabo dentro de la mina una vez concluidas las operaciones.
5. Descripción detallada de cómo se lograrán los objetivos plasmados en el mapa.
6. Designación y descripción de los indicadores que señalen el cumplimiento de los objetivos.
7. Mantenimiento y monitoreo.
8. Calendario de actividades.
9. Instalaciones, materiales y equipo necesario.
10. Presupuesto.

La justificación y los objetivos del plan son los elementos que se definen desde la etapa de planeación y este es aprobado con o sin condiciones durante la resolución de la Manifestación de Impacto Ambiental; de hecho, la presentación del plan de restauración (o uso final) debería incluirse en este documento.

El registro de la situación ambiental previa a la realización del minado, es la forma de contar con estudios de línea base para evaluar el desempeño ambiental del proyecto y medir el éxito del plan; al mismo tiempo es una herramienta para realizar los trabajos de restauración sobre todo cuando el objetivo está dirigido hacia la recuperación del ecosistema y topografía original. Un ejemplo de lo último es la elaboración de un diseño geomorfológico para canteras, el cual requiere del mapa topográfico del área afectada previo a la extracción (Martín-Duque *et al.*, 1998).

Los objetivos de un plan de restauración pueden representarse de forma gráfica en un mapa. De esta manera se ubica en el espacio la distribución y relaciones del uso determinado con los que existen alrededor. Además, es una forma de guiar las obras y evaluar los avances.

La forma en que se lograrán los objetivos del plan de restauración es lo que materializa el mapa. En esta sección debe aclararse el manejo que se dará al suelo, al agua, a los residuos, la topografía y las especies para alcanzar los objetivos. También, cabe aclarar en este punto, los experimentos que pudieran requerirse para obtener la información necesaria en el desarrollo del plan.

Los indicadores del éxito del plan, son un medio diseñado para reducir una gran cantidad de datos en la forma más simple, lo cual facilita su entendimiento y manejo. Su principal objetivo es medir el desempeño y generar información sobre la cual, las futuras acciones, ya sea de carácter ambiental, social o económico pueden basarse (Vargas, 2000). En el caso de un plan de restauración de minas, los indicadores tendrían que ver en general con la recuperación del uso productivo

del sitio y cómo este contribuye con la población afectada por el cierre de la mina, es decir, en qué medida se alcanza la sustentabilidad con la ejecución del plan.

Existen múltiples indicadores de sustentabilidad que consideran generalmente a los aspectos ambientales, sociales y económicos de manera aislada, o en combinación. Esto ocurre porque los indicadores pueden generarse a diversas escalas (proyecto, comunitario, regional, global) y son elaborados en función de diferentes objetivos.

No obstante lo anterior, existe un consenso en torno a los criterios a considerar durante el diseño de indicadores del desempeño ambiental (Warhurst, 2002):

1. Medidas significativas y realistas del ambiente, la salud y la seguridad.
2. Factible de obtener.
3. Fácilmente entendible y claramente definido.
4. Capaz de facilitar comparaciones entre el desempeño y la política de la empresa.
5. Científicamente creíble.
6. Capaz de dar señales tempranas de precaución sobre el desempeño desfavorable.

Como parte del contenido de un plan de restauración, el mantenimiento es otro punto importante a considerar, pues al inicio los sistemas que se establezcan difícilmente serán autosostenibles. El cuidado necesario puede incluir el uso de fertilizantes, de riego, de manejo de plagas, etc. Pasado algún tiempo determinado, el mantenimiento será mínimo o nulo.

El monitoreo tiene que aplicarse en paralelo con el mantenimiento no sólo en las obras contempladas en el plan de uso final sino en los sitios con problemas de contaminación de suelo y agua, en la estabilidad de taludes y generación de sedimentos que modifiquen la calidad del agua, así como en acuíferos para identificar contaminantes; con esto se podrán identificar las fallas y problemas emergentes y retroalimentar el plan para mejorarlo y controlar las dificultades que se presenten. Los datos recabados durante el monitoreo pueden ser útiles para el desarrollo de indicadores.

El plan, debe incluir el tiempo en que se programan todas las actividades; así como el personal requerido, los materiales, equipo y obras necesarios (tales como Invernaderos, experimentos, plantas de tratamiento, maquinaria) para alcanzar los objetivos. De esta manera, se establece el costo total por concepto de restauración y se integra a los estudios de factibilidad. Esto también permite hacer comparaciones en tiempo y costos con relación a otras propuestas, y/o generar otros escenarios con modificaciones del original para encontrar un óptimo económico, ambiental y social.

3 UN ESQUEMA PARA MINAS ABANDONADAS

En la mayoría de los países con una historia minera larga, existe relativamente poca información sobre la situación ambiental de las minas antiguas. Dada la incertidumbre del estado ambiental de las minas abandonadas, es muy difícil conocer el costo de su restauración, lo cual también tiene que ver con la elección del estado hacia el cual se desea restaurar. No obstante lo anterior, las cifras provenientes de algunas minas muestran que es sumamente costoso restaurarlas, por ejemplo Estados Unidos, se calcula que las medidas necesarias de restauración de minas ascienden entre 50 y 60 mil millones de dólares (MMSD,2002).

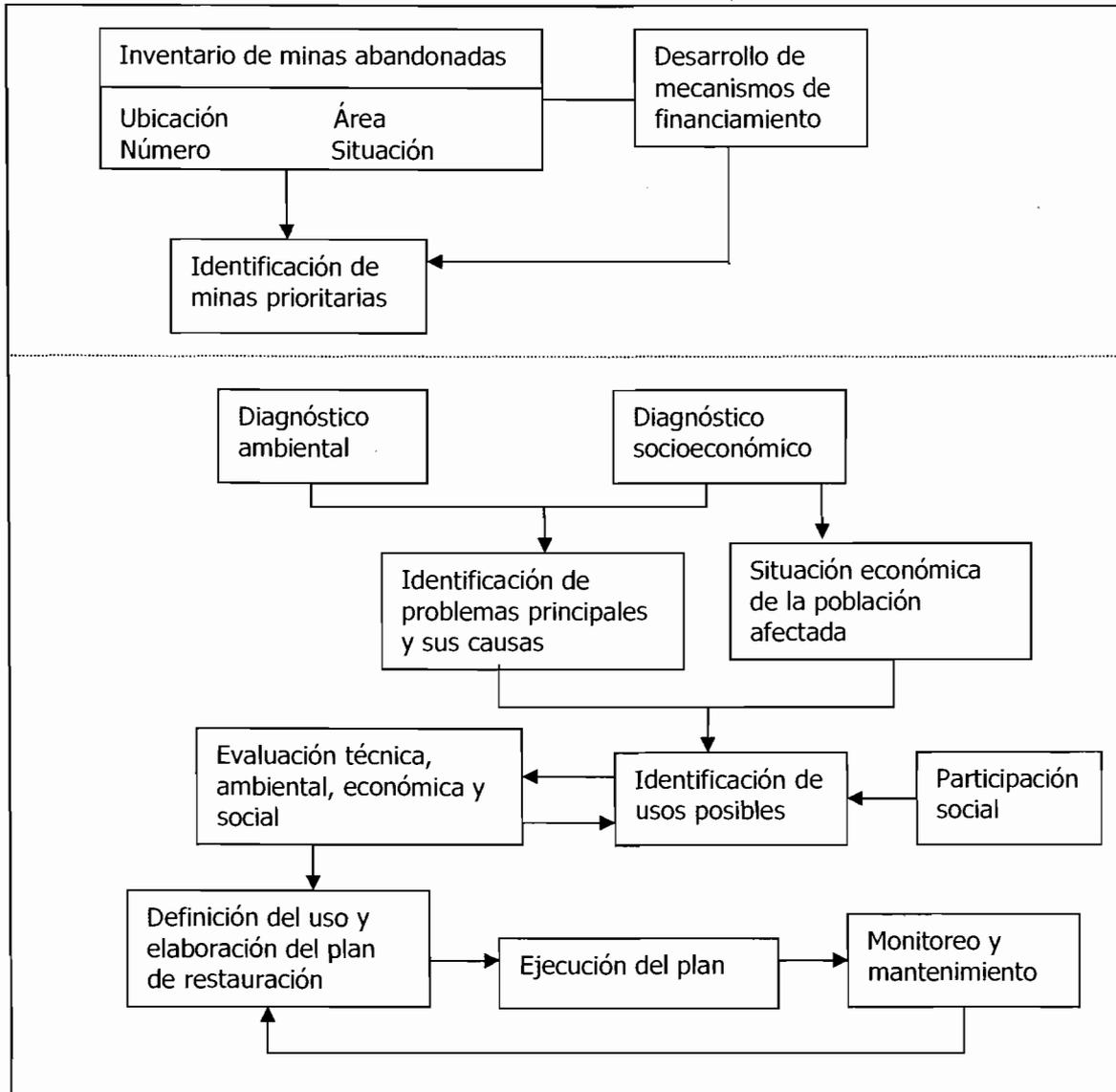
En México, el conocimiento sobre los costos por restauración de minas abandonadas también es incierto por la misma razón: no existe un inventario de minas abandonadas y tampoco se conoce su situación ambiental, aunque se puede suponer que debe ser grande por el legado de 500 años de minería en nuestro país.

Para poder restaurar las minas abandonadas en México (y en otros países), es necesario que se realicen algunas acciones prioritarias. La primera es la identificación y registro de las minas abandonadas y determinar el riesgo que éstas representan para iniciar los trabajos necesarios en aquellas con mayores riesgos (Fig. 4.4).

Considerando que durante la mayor parte de la historia minera en México se han explotado los minerales a través del minado subterráneo, se espera que el número de minas superficiales abandonadas sea menor. No obstante, los impactos que se producen por su apertura son en general, importantes.

De acuerdo con el número estimado en el presente trabajo, del universo de 5595 minas acumuladas hasta 1999 en la mayor parte del territorio nacional (de las cuales el 33% se suponen superficiales), podría definirse a la cantidad de minas abandonadas. A esta cifra, en teoría no debiera sumarse el número de minas registradas por el INEGI puesto que en el año del levantamiento del censo (1998) ya existían las leyes de protección ambiental, sin embargo, las medidas de aseguramiento de los compromisos ambientales es reciente en la legislación ambiental, por lo tanto es probable que se adhiera un número indeterminado igual o menor a 2368 minas (94% estimadas como superficiales). Estos datos son una estimación preliminar y se requiere elaborar un inventario preciso, para lo cual es necesario contar con una definición de qué es una mina abandonada para uniformar criterios.

Fig. 4.4. Esquema de restauración de minas abandonadas.



En general, el abandono de una mina implica una situación de irresponsabilidad para asumir las consecuencias ambientales después que ha concluido el minado. Las causas pueden ser la incapacidad económica del concesionario, y/o la inexistencia de regulaciones ambientales durante todo el desarrollo de la explotación. Asimismo, la incapacidad para identificar al propietario o la empresa sobre los cuales se podría deslindar responsabilidades, es otra característica del abandono. Además de estos aspectos, debe especificarse la delimitación de las unidades que se considerarán como minas abandonadas, es decir, cada abertura, o el conjunto de aberturas adjuntas en la misma zona.

Bajo los criterios mencionados arriba, podría elaborarse un inventario de minas abandonas. Sin embargo, el problema de estas no termina ahí, por lo que la

segunda acción prioritaria es desarrollar mecanismos de financiamiento para solventar la restauración, pues el gobierno no cuenta con los recursos económicos necesarios aún cuando existe la figura de zonas de restauración en la Ley general de equilibrio ecológico y protección al ambiente.

El abandono de minas no es un asunto exclusivo de México, sino una situación mundial en la que otros países han estado trabajando. En la mayoría de los casos los gobiernos no disponen de los recursos económicos necesarios para enfrentar la problemática de estas minas; sin embargo, algunos países han impuesto un mecanismo fiscal a la industria para pagar por la restauración, el cual parece ser la única alternativa efectiva (Balkau, 1999).

Otra idea es que las empresas adquieran voluntariamente la responsabilidad sobre el problema (MMSD,2002). Las condiciones de las minas abandonadas es uno de los principales motivos por los cuales es rechazado el desarrollo de nuevos proyectos mineros, por lo que la restauración de éstas áreas puede mejorar la imagen de las empresas mineras e incrementar su aceptación en las comunidades.

El esquema de restauración para minas abandonadas difiere del sugerido para nuevos proyectos esencialmente porque no existe una planeación previa ni estudios sobre las condiciones ambientales anteriores a la extracción (o sea, de línea base). En este caso, es necesario partir de un diagnóstico ambiental para identificar los problemas principales y determinar sus causas, con ello, es posible controlar o impedir que sigan presentándose.

Los estudios necesarios para definir la situación ambiental de las minas abandonadas, deben considerar la presencia y alcance espacial de los contaminantes (como los metales pesados) en el suelo y agua tanto superficial como subterránea, identificar el origen de la contaminación (jales, rocas del estéril, paredes de tajos), la estabilidad de los residuos generados, la cobertura de vegetación en el área, las condiciones físicas y químicas del sustrato, la presencia de contaminantes en los habitantes, plantas y animales silvestres y comestibles.

Algunas de las acciones que se derivarían de los estudios diagnósticos pueden ser las siguientes:

1. Nivelación del suelo.
2. Revegetación.
3. Establecimiento de la naturaleza de cualquier cuerpo de agua remanente en los tajos y el tratamiento si es necesario.
4. Relleno de tajos.
5. Rehabilitación del drenaje superficial en los terreros.
6. Rediseñar la inclinación de los residuos hacia uno aceptable para la revegetación y la estabilidad.

7. Rehabilitación de cursos naturales del agua afectados directamente por las operaciones mineras.
8. Recolección y tratamiento de agua contaminada.
9. Remediación de suelos contaminados por la actividad minera.

El diagnóstico social se complementa con el ambiental para identificar los problemas sociales y económicos derivados de la degradación ambiental; por ejemplo, cómo se afectan las actividades productivas por efecto de contaminantes en el agua o suelo, o cuál es el impacto de la contaminación sobre la salud de los pobladores y en su calidad de vida.

La identificación del origen de los problemas ambientales que inciden sobre la comunidad, determina prioridades y objetivos. Sin embargo, el ordenamiento del territorio o los usos presentes dentro del área afectada o en sus alrededores, y las características de la población influyen sobre la dirección hacia la cual dirigir el proceso de restauración. Al igual que en el esquema para nuevos proyectos, debe buscarse la compatibilidad de usos en el contexto espacial, pero también con relación a las características de la población local.

La conjugación de todos los factores (ambiental, económico y social) determinan un catálogo de posibles usos en la zona; no obstante, la decisión sobre la mejor alternativa no debe centrarse en el gobierno, sino que la apertura a las opiniones de los propios habitantes y organizaciones no gubernamentales interesadas puede conducir hacia una opción que resulte más viable. A lo anterior hay que señalar la necesidad de evaluar las posibilidades técnicas de realización, el impacto ambiental que pueda generar un nuevo uso, y los beneficios sociales y económicos que pudiera traer. La identificación de usos potenciales y su evaluación, es un proceso iterativo.

Cuando se ha definido el uso del área degradada, se planea la restauración. El contenido de este no difiere del propuesto para nuevos proyectos, excepto que no es posible cumplir con el punto 3 (situación previa a minado). Una vez puesto en marcha, será necesario dar mantenimiento al nuevo sistema y monitorear sus respuestas, si se presentan fallas, estas podrán identificarse a tiempo y retroalimentar el plan original para evitar que continúen presentándose.

4 BIBLIOGRAFÍA

- Amaranthus, M. P. y D.A. Perry. 1987. "Effect of soil transfer on ectomycorrhiza formation and the survival and growth of conifer seedlings on old, nonforested clear cuts". *Canadian Journal Forest Research*. 19: 550-556.
- Arroyo, L. M. 1995. El Área ambiental en la Industria Minera. Memorias de la XXI Convención AIMMGM. Acapulco, Guerrero.
- Atkinson, R. B. Y J. Cairns. 1994. "Possible use of wetlands in ecological restoration of surface mined lands". *Journal of Aquatic Ecosystem Health*. 3:139-144.
- Balkau, 1999. Abandoned mines sites: problems, issues and options. Berlin II Roundtable on mining and the environment.
- Borja, J. A. y J. J. Sánchez. 1995. Unidad San Martín, Querétaro: Restauración ambiental área Tajo San José. Memorias de la XXI Convención AIMMGM.
- Celedón, H. 1994. Diagnóstico de la fertilidad en sustratos de terreros y jales depositados de la empresa Peña Colorada. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 81 pp.
- Day, a. D., Ludeke, K.L. y J. L. Thames. 1986. "Revegetation of coal mine soil with forest litter". *Journal of Arid environments*. 11:249-253.
- Ehrlich, P. R. y A. Ehrlich. 1992. "The value of biodiversity". *Ambio*. 21:219-226.
- Ehrlinch, P. R. y H. A. Mooney. 1983. "Extinction, substitution and ecosystem services". *BioScience*. 33:248-254.
- Ghose, M.K. 2001. "Management of topsoil for geoenvironmental reclamation of coal mining areas". *Environmental geology*. 40:1405-1410.
- Hancock, G.R. 2004. "The use of landscape evolution models in mining rehabilitation design". *Environmental geology*. 46:561-573.
- Helm, D. J. y D. E. Carling. 1993. "Use of soil transfer for reforestation on abandoned mined lands in Alaska". *Mycorrhiza*. 3:97-106.
- Holmberg, G.V. 1983. "Land use, soils and revegetation". In *Surface mining, environmental monitoring and reclamation handbook*. Ed. Sendelin, L., Yazicigil, H. y C. Carson. Elsevier Science Publishing.
- Macías, G. y L. H. Vázquez. 1995. Plan de Cierre de "La minita", mina a tajo abierto de Minera Capela, S.A. de C.V. del Grupo Peñoles. Memorias de la XXI convención AIMMGM. Acapulco, Guerrero.
- Márquez, R. 1999. Regeneración de la vegetación en distintos ensayos de restauración de mina de roca caliza a cielo abierto en una industria cementera, Ixtaczoquitlan, Veracruz. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz. México. 145 pp.
- Martín, C. 1999. *El estudio de impacto ambiental*. Universidad de Alicante. España. 168pp.

- Martín-Duque, J. F., Pedraza, J., Díez, A., Sanz, M. A. y R. M. Carrasco. 1998 "A geomorphological design for the rehabilitation of an abandoned sand quarry in central Spain". *Landscape and Urban Planning*. 42:1-14.
- Minería CAMIMEX. 1998. "Materias Primas de México regeneran la mina Otilio en Zacatlán, Estado de Puebla". *Minería CAMIMEX*. Vol IX No. 9 pág. 4.
- Mining, Minerals and Sustainable Development (MMSD) Project. 2002. Publicado por Earthscan para el International Institute for Environment and Development y el World Business Council for Sustainable Development.
- Panizza, M. 1996. *Environmental geomorphology*. Elsevier. Amsterdam. 268 pp.
- Peralta, A. y G. D. Ramírez. 2003. Técnicas de planeación para la minimización de drenaje ácido en minas a cielo abierto. Memorias técnicas de la XXV Convención Internacional de Minería AIMMGM.
- Priego, A. y G. Bocco, 2003. Apuntes del curso de geografía del paisaje. UNAM. México.
- Ramani, R.V., Sweigard, R.J. y M. L. Clar. 1990. "Reclamation planning". En *Surface mining*. Ed. B.A. Kennedy. AIME. Estados Unidos.
- Roberts, S., Veiga, M. y C. Peiter, 2000. Aspectos Generales del Cierre y Recuperación de minas en las Américas. Resumen Ejecutivo.
- Terrazas, V. 2001. Programming the use of mine site in disuse for rehabilitation and new uses, Mexican case. Memorias del XXIV Convención Internacional AIMMGM. Acapulco, Guerrero. Pág. 501-504.
- Valdéz, I. H. 1986. Problemas ambientales y medidas de control en la exploración y explotación de yacimientos de carbón mineral. En Memorias del Simposio Energía y Medio Ambiente. UNAM-SEDUE. México. 247 pp., 1986.
- Vargas, E. 2000. "Indicadores de sostenibilidad y su aplicación a las empresas mineras" (pág. 354-380). En *Cierre de Minas experiencias en Iberoamérica*. R.C. Villas Boas y M. L. Barreto (editores) CYTED/IMAAC/UNIDO. 518 pp.
- Veiga, M. M., Scoble, M. y L. M. McAllister. 2000. Mining with communities. Documento presentado en Mining Millennium 2000. PDAC/CIM Conference, Toronto, March 5-10 2000.
- Warhurst, A. 2002. *Sustainability indicators and sustainability performance management*. International institute for environment and development, World Business Council for sustainable development. 129 pp.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Existen dos contextos para la restauración de minas en México, el primero es sobre el legado de pasivos ambientales de las minas abandonadas, y el segundo es acerca del desarrollo de nuevos proyectos mineros.

En el primer caso, la creación de estrategias y planes de restauración en el país está limitada por la ausencia de un inventario actual, completo y preciso sobre las minas abandonadas. Su conformación debería ser efectuada por los organismos del Gobierno que han reunido la información sobre las minas, tales como la Dirección General de Minas y el Servicio Geológico Mexicano (antes Consejo de Recursos Minerales). Al mismo tiempo, el registro de los nuevos proyectos de minas ante el Registro Público de la Minería tendría que incluir información sobre el tipo de minado, las sustancias a explotar y las coordenadas del polígono. Esto permitiría tener un inventario actualizado de las minas de sustancias concesibles; por su parte, a los gobiernos de los estados les correspondería hacer lo mismo con los no concesibles (materiales pétreos y de construcción), pues les corresponde regular a éstos.

La ausencia del financiamiento para disminuir los pasivos ambientales originados por las minas abandonadas es otro motivo fundamental por el cual no se han identificado las áreas con mayor prioridad ni efectuado acciones dentro de ellas. Por tal motivo, la vía que los gobiernos han tomado es hacia la prevención de los impactos ambientales. A pesar de ello, los mecanismos legales que aseguren la protección ambiental durante el desarrollo de los nuevos proyectos mineros se han desarrollado poco.

Por el volumen de extracción de minerales no metálicos (en el periodo 1995-2003), se estima que el Estado de México, Coahuila y Jalisco poseen una superficie mayor ocupada por la minería superficial que el resto del país. De estas entidades, Coahuila no cuenta con un instrumento específico que regule las minas superficiales de sustancias no concesibles. A escala Nacional, se encontró que sólo seis estados han elaborado una regulación en esta materia a través de reglamentos, acuerdos y normas estatales; en otros casos, la apertura de minas se regula a través de la evaluación de impacto ambiental.

La heterogeneidad en las normas establecidas dentro de la competencia estatal, se expresa con relación al mecanismo empleado, el grado de especificidad y la incorporación de medidas de aseguramiento para cumplir responsabilidades ambientales. Así, mientras las normas tienen mayor especificidad, las evaluaciones

de impacto ambiental son menos precisas sobre cómo manejar todas las etapas del proyecto. Además, la incorporación de instrumentos económicos necesarios para garantizar los trabajos que dicte la autoridad (como las fianzas), sólo está considerada en los reglamentos de Jalisco y Colima.

La importancia económica de sustancias como la arena, grava, mármol y ónix, se refleja dentro del 94% del total de las minas registradas por el INEGI en 1998. Esto significa que actualmente prevalecen minas de sustancias no concesibles, y que por lo tanto su regulación está a cargo de cada gobierno estatal. Consecuentemente, el desarrollo de normativas claras y la existencia de instrumentos fiscales o financieros que aseguren el cierre de estas minas será fundamental para evitar que se acumulen a los pasivos ambientales de alrededor de 2000 minas. Pero al mismo tiempo, la definición de lo que se espera de cada cierre es igualmente importante, como recuperar la productividad a través del establecimiento de algún uso nuevo. Al respecto, las legislaciones correspondientes de Guanajuato y del Estado de México, son las únicas que reconocen esta idea, aunque no está muy desarrollado su contenido.

Dentro de la competencia federal, la falta de especificidad se expresa en la ausencia de normas oficiales mexicanas relacionadas con el cumplimiento del artículo 108 sobre la explotación de recursos no renovables (concesibles) de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), pues sólo existe una norma para la etapa de exploración y para la construcción de presas de jales, y ninguna relacionada con la protección del ambiente durante las etapas de producción y cierre de las minas superficiales.

La evaluación de impacto ambiental (IEA) es uno de los instrumentos que en teoría regula todas las etapas de un proyecto y el que mayormente regula el desarrollo de la minería superficial, sin embargo es poco específica y clara sobre la regulación del cierre (o abandono), la cual es un punto fundamental para evitar la acumulación de los problemas ambientales que originan las minas abandonadas. La pérdida de la productividad y de la posibilidad de desarrollar las mismas actividades presentes antes del minado u otras distintas, son condiciones que al regularlas adecuadamente, se pueden dirigir hacia un uso. No obstante, aunque cabe la posibilidad de solicitar la restauración como una medida de mitigación, existe discrecionalidad porque no está explícitamente solicitada, menos aún el contenido de un plan de cierre. Por lo tanto, es necesario incluir una mención clara y concreta de presentar un plan para la etapa post-operacional (cierre) y su contenido en la legislación. De lo contrario, la discrecionalidad puede convertirse en elemento de corrupción.

Si bien la legislación ambiental mexicana tiene las bases necesarias para prevenir y mitigar los impactos ambientales de la minería superficial, no existe el grado de especificidad necesario para hacerlo efectivo, y tampoco para asegurar un uso

sustentable del área minada una vez que terminen las operaciones en el ámbito estatal y federal.

En consecuencia, el esquema de restauración de minas superficiales para nuevos proyectos, presentado en este trabajo, puede implementarse con algunas condiciones:

1. La primera es que exista una legislación que elimine la discrecionalidad mediante el establecimiento claro de la presentación de planes de restauración para la etapa de cierre como condicionante de la aprobación en materia de ambiental.
2. La segunda es que se enfatice en la importancia de presentar alternativas justificadas del proyecto, pues una buena evaluación del impacto ambiental tendría que comparar las opciones y considerar aquella que resulte más benéfica desde el punto de vista ambiental y social.
3. La tercera, es el establecimiento de plazos de tiempo para cumplir el plan y los indicadores para evaluar los compromisos.
4. La cuarta condición es el aseguramiento del cierre a través del uso de instrumentos económicos como los seguros o garantías en todo proyecto, no sólo hacia aquellos en que se liberen sustancias tóxicas, persistentes y bioacumulables como actualmente sucede. Los sistemas basados en incentivos (por ejemplo, cuotas por contaminación) podrían complementar el control regulatorio (leyes y normas).

Al reducir la discrecionalidad, se generan condiciones de igualdad para todo proyecto sometido al procedimiento de impacto ambiental y se asegura que cada nueva mina autorizada no incrementará los pasivos ambientales que ya de por sí existen.

Sin embargo, la capacidad técnica y económica de las empresas puede determinar el desarrollo de alternativas de acuerdo al esquema, y el aseguramiento de los compromisos ambientales. Las empresas pequeñas y medianas podrían tener dificultades, los costos por concepto ambiental reduciría su capacidad económica. De hecho, los instrumentos financieros no han sido aplicados en mucho países en desarrollo como el nuestro, debido a la prioridad que existe para incentivar la inversión; las garantías y los nuevos requerimientos ambientales pueden desanimar a los inversionistas. Así mismo, las empresas pequeñas y medianas en conjunto, pueden generar fuentes de trabajo significativos que no se crearían por incumplimiento de requisitos ambientales. No obstante, la implementación de instrumentos financieros puede inducir fusiones entre empresas para persistir y estar en condiciones de mejorar su desempeño ambiental.

Sin bien, dada la situación legal ambiental en México, es sencillo evitar las regulaciones ambientales, la incorporación de instrumentos económicos (que ya están incluidos en la LGEEPA) puede ser de gran utilidad. La incorporación del

cuidado ambiental incrementa los costos operativos de las empresas, lo cual es un estímulo para buscar formas alternativas que reduzcan sus impactos y al mismo tiempo disminuyan sus costos. Pero esto es posible siempre y cuando se aplique a todas las empresas a través de cuotas o cargos por ejemplo de contaminación; por lo tanto es necesario comenzar a desarrollar los instrumentos económicos.

Los requisitos ambientales para aprobar un proyecto nuevo en los países desarrollados son más estrictos que en los que están en desarrollo. La tendencia en los países desarrollados es, además de crear leyes para prevenir y mitigar los impactos ambientales, incorporar la dimensión social a los proyectos, y el aseguramiento de un plan de cierre que incluya la creación de las condiciones para un nuevo uso en las minas a través del uso de diversos instrumentos económicos como los bonos de restauración. Debido a lo anterior, se han incrementado los costos y el tiempo en que inician las operaciones. La consecuencia de esto, es la salida de varias empresas localizadas por ejemplo en Canadá, Estados Unidos y Australia hacia otras regiones mineras importantes que tienen una legislación ambiental menos estricta como la nuestra.

Por lo tanto, el problema principal para establecer esquemas de restauración exitosos, que permitan un desarrollo sustentable en las minas, es principalmente de índole económica, aunque en México existen algunas dificultades técnicas.

A pesar de que la Restauración ecológica surgió en 1935 y, que en otros países se han hecho investigaciones sobre las técnicas adecuadas para restaurar (o rehabilitar) minas superficiales, en México se ha hecho muy poco. El conocimiento que ya se ha generado en otros países sobre esta materia, puede ser aprovechado para tratar problemas como la prevención y control del drenaje ácido; sin embargo, es necesario generar conocimiento propio sobre las especies vegetales nativas de México que sean candidatas a poblar los ambientes generados en las minas superficiales, y habitar sustratos ricos en metales, por ejemplo. Un énfasis importante debiera hacerse en los principales tipos de vegetación en los que se distribuyen la actividad minera: Matorral xerófilo, selva baja caducifolia y bosques de pino encino.

El escenario que se ha planteado en el presente trabajo es un punto de partida para nuevos trabajos orientados hacia la restauración de minas superficiales y hacia el desarrollo sustentable de la minería. El esquema propuesto para nuevos proyectos es una primera aproximación que recoge los aspectos discutidos en el mundo sobre los temas de ambiente y sociedad involucrados en la minería, sin embargo requiere ser probado y mejorado sobre la práctica.

México está incluido dentro de la principal región de inversión minera en el mundo y al mismo tiempo posee un potencial minero importante. Esta situación, en conjunto con el uso cada vez mayor de métodos de minado superficiales, el

uso de tecnología más sofisticada y la corta duración de los proyectos, apuntan hacia una degradación más extensiva que con relación al pasado, y de beneficios económicos locales (es decir, en las comunidades) menos prolongado.